

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

UNAN – Managua

Facultad de Ciencias e Ingenierías

Departamento de Tecnología

SM
INGE
378-242
Her
2016

cd-ro-

ral "Salomón de la Selva"

UNAN-Managua

Fecha de Ingreso: 15/11/17

Comprado: Don + fac. Ciencia

Precio: C\$ _____ US _____

Registro No. 97475



Escanear.

Seminario de graduación para optar al título de ingeniero en Electrónica

Tema: Análisis de una red de acceso para el despliegue de la red LTE (4G) con la técnica FDD (Frequency División Dúplex) en el municipio de Masaya, departamento de Masaya.

Integrantes:

Br. Kevin Alejandro Hernández Caballero

Br. Victor Ernesto Altamirano García

Tutor:

Msc. Milciades Delgadillo

Fecha: lunes 21 de noviembre de 2016

INDICE

I.	DEDICATORIA	I
II.	AGRADECIMIENTO	II
III.	RESUMEN	III
IV.	INTRODUCCION	IV
V.	JUSTIFICACION.....	V
VI.	OBJETIVOS	VI
VII.	DESARROLLO	1
	Capítulo 1 Conceptos básicos y parámetros que se incluyen la planificación de un eNodeB	1
1.1	¿Qué es LTE?	1
1.2	Características de LTE.....	2
1.3	¿Qué versiones de LTE existen?	4
1.4.	Ventajas de LTE	6
1.5.	Topología de la red LTE:	7
1.6.	Modulaciones para LTE	8
1.6.1.	OFDMA	8
1.6.2.	SC-FDMA.....	9
1.7.	MIMO	10
1.8.	¿Cómo funciona MIMO?	13
1.9.	Arquitectura general de los sistemas 3GPP	14
1.9.1.	Equipo de usuario.....	14
1.9.2.	Red de acceso.....	15
1.9.3.	Red Troncal.....	15
1.10.	Red de acceso evolucionada: E-UTRAN.....	16
1.10.1.	Arquitectura de E-UTRAN.....	16
1.10.1.1.	Evolved NodeB (eNodeB o eNB)	17
1.10.1.2.	E-UTRAN Uu.....	18
1.10.1.4.	S1	20
1.10.1.4.1.	S1-MME	20
1.10.1.4.2.	S1-U	21
1.11.	Protocolos	21
1.11.1.	Protocolos en la interfaz E-UTRAN Uu	21

1.11.2.	Packet Data Convergence Protocol (PDCP).....	21
1.11.3.	Radio Link Control (RLC).....	22
1.11.4.	Medium Access Control (MAC).....	22
1.11.5.	Protocolos en las interfaces S1 y X2.....	22
1.11.6.	Plano de usuario entre UE y EPC.....	23
1.11.7.	Plano de control entre UE y EPC.....	24
1.12.	Red Troncal de paquetes evolucionada (EPC).....	24
1.12.1.	Arquitectura EPC.....	24
1.12.2.	Entidades de red e interfaces.....	26
1.12.3.	MME (Mobility Management Entity).....	26
1.12.4.	Serving Gateway (S-Gw).....	27
1.12.5.	PDN Gateway (P-Gw).....	28
1.12.6.	HSS (Home Subscriber Server).....	29
1.13.	Interfaces entre entidades de red.....	30
1.13.1.	Interfaz P-Gw – Redes Externas.....	30
1.13.2.	Interfaz P-Gw – S-Gw (S5 y S8).....	31
1.13.3.	Interfaz MME – S-Gw (S11).....	31
1.13.4.	Interfaz MME – MME (S10).....	32
1.13.5.	Interfaz HSS – MME (S6a).....	32
1.14.	Protocolos e Interfaces.....	33
1.14.1.	Interfaces basadas en GTP-U.....	33
1.14.2.	Interfaces basadas en GTP-C.....	35
1.14.3.	Interfaces basadas en Diameter.....	36
1.14.4.	Interfaces basadas en PMIPv6.....	37
1.14.5.	Protocolos NAS.....	39
1.14.6.	Protocolo NAS para la gestión de movilidad (EMM).....	40
1.14.7.	Protocolo NAS para la gestión de las sesiones (ESM).....	41
1.15.	Configuraciones de la red EPC.....	42
1.16.	Soporte de roaming.....	43
1.17.	IP Multimedia Subsystem (IMS).....	46
1.18.	Equipos de usuario.....	50
	Capítulo 2 Parámetros de instalación y montaje de equipos para un eNodeB en FDD.....	52
2.1.	Parámetros a considerar al momento de escoger la ubicación de un eNodeB.....	52

2.2.	Equipos a instalar	53
2.2.1.	Base Band Unit (BBU)	53
2.2.2.	Unidad de Radio Remota (Radio Remote Unit o RRU).....	54
2.2.3.	Antenas.....	55
2.2.4.	Power Distribution unit	57
Capítulo 3	Simulación y drive test de la puesta en servicio de una red LTE	58
3.	Software de planificación.....	58
3.1.	Atoll Software.....	58
3.2.	Requerimientos para la simulación.....	58
VIII.	CONCLUSIONES	77
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	78

I. DEDICATORIA

Este proyecto lo queremos dedicar a las personas más importantes de nuestras vidas muy especialmente a nuestros padres porque gracias a ellos, su esfuerzo y dedicación hemos salido adelante, esperando que el día de mañana poniendo nuestra dedicación en cuerpo y alma tal y como ellos lo han hecho con nosotros alcancemos el éxito y la plenitud de nuestras vidas, así mismo a todas esas personas a las que no nos bastaría todo el documento en mencionar y que han influido y han sido de gran impacto en nuestras vidas para animarnos, ayudarnos e impulsarnos a alcanzar nuestros sueños y metas, este proyecto lo dedicamos a cada uno por ser parte irremplazable de nuestras vidas.

II. AGRADECIMIENTO

La vida Universitaria ha sido una etapa de formación, aprendizaje y de desafío para poder alcanzar la realización tanto personal como profesional y queremos agradecer el apoyo y respaldo brindado todos los que han estado con nosotros en este proceso, a Dios primeramente por cuidarnos, darnos la sabiduría y el entendimiento para completar esta etapa, así mismo a nuestros padres por su compromiso, amor y dedicación con nuestra educación para que pudiésemos llegar lugares que nunca hubiésemos imaginado, también a nuestros docentes con los que compartimos no solo una relación de docente – estudiante sino que se convirtieron en tutores y amigos y a todos nuestros seres queridos familiares, amigos, compañeros que fueron de suma importancia para que pudiésemos llegar a este gran momento de nuestras vidas les damos gracias.

III. RESUMEN

El presente documento aborda el análisis y diseño de una red LTE en el municipio de Masaya, departamento de Masaya y de esta forma ofrecer mejores servicios de datos en dicho municipio para un mercado cada vez más demandante, incluye los fundamentos teóricos básicos que caracteriza a la Tecnología LTE, los parámetros de instalación, los procedimientos y el planteamiento de un diseño de cobertura así como la simulación, Drive Test y cálculos del diseño que permitirán a cualquier empresa telefónica aprovechar dicho diseño para la debida ejecución de esta propuesta.

IV. INTRODUCCION

Hablar de 4G es hacer referencia a telefonía celular de cuarta generación, que actualmente obtiene sus mejores niveles de rendimiento basada en un tipo de tecnología inalámbrica conocida como Long Term Evolution o LTE, que equivale a decir Evolución a Largo Plazo. La tecnología 4G basada en LTE representa un gran avance para la industria de las telecomunicaciones porque es sumamente rápida, eficiente e inteligente, lo que permite tener una experiencia extraordinaria al usuario.

Las redes LTE han sido establecidas a lo largo de América Latina desde el año 2009 y en el caso de nuestro país desde 2015 se viene hablando de LTE como un producto comercial tangible para ciertos usuarios de la telefonía celular debido a que países como Belice, Honduras y Nicaragua están entre los de menor penetración a internet en toda América Latina y el Caribe y como ya se mencionó en Nicaragua la cobertura en LTE es muy poca, limitándose y a la ciertos sectores de la ciudad capital y algunos municipios de los departamentos aledaños a la ciudad antes mencionada.

Este estudio pretende llevar a cabo un análisis de una red de acceso para el despliegue de la red LTE (4G) con la técnica FDD (Frecuencia División Dúplex) en el municipio de Masaya, departamento de Masaya ya que por medio de la tecnología LTE se puede acelerar la expansión de cobertura geográfica de los servicios de banda ancha móvil viabilizando la contratación de estos servicios por una mayor parte de la población, mejorando la calidad de comunicación, acceso a servicios telefónicos y todo el sin número de beneficios que ofrece el tener una excelente conectividad a la telefonía y al servicio de internet como tal.

Adicional al análisis de la red de acceso hablaremos acerca de temas como los distintos protocolos de intercomunicación que se ejecutan en la red interna, los entornos multiantenas, versiones de LTE, arquitectura de red para LTE, ventajas de LTE, las categorías de equipos LTE y algunos detalles de los parámetros que están establecidos para la instalación de los equipos que hacen posible que LTE exista y algunos otros temas que son trascendentales para cualquier persona que desee incursionar en este vasto universo de las telecomunicaciones.

V. JUSTIFICACION

En Nicaragua la cobertura de las redes 4G aún es muy limitada, debido a que solo está presente en ciertos municipios de las ciudades principales del país, nos hemos planteado este estudio con la finalidad de poder analizar un poco más a detalle los parámetros de instalación, conocimientos teóricos, protocolos y llevar a cabo el diseño de una puesta en servicio de un eNodeB en el municipio de Masaya, departamento de Masaya para ofrecer los servicios de datos a través de las redes 4G en dicho municipio.

La red existente en este departamento es 2G/3G y la ventaja de instalar redes 4G es que la velocidad de Internet 3G supone un promedio de 256Kbps y las redes 4G, aunque hay distintos tipos (HSPA + 21/42, WiMAX y LTE), son por lo general considerablemente más rápidas hasta un máximo de 100Mbps dependiendo del equipo y 300Mbps en equipos de gama alta pero teniendo un promedio entre 10Mbps y los 30Mbps por usuario, esto permitirá a los usuarios acceder a los servicios de internet y sus derivados con un servicio garantizado de mejor calidad.

En el municipio de Masaya existe una densidad poblacional de 857 Habitantes por Km² para un población total de 162,868 habitantes solo en la cabecera departamental, si bien esto indica que es el departamento más poblado por Km² del país y debido a esto vemos la necesidad de plantear un diseño de nodos LTE en este sector para brindar el servicio de datos ya que esto traería no solo un avance en las comunicaciones como tal sino que también repercutirá en la economía del departamento y así aumentar la calidad de vida de los habitantes.

Este estudio trae como beneficio inmediato a la conclusión del mismo el brindar una introducción a los conocimientos técnicos y teóricos ya sea para estudiantes, técnicos o ingenieros que están interesados en incursionar en el campo de las telecomunicaciones, sin contar que dicho diseño de este eNodeB en el municipio de Masaya puede ser perfectamente utilizado por las compañías de telecomunicaciones presentes en nuestro país en la implementación de dicho proyecto y esto traería consigo a todos los usuarios de ese sector el sin número de beneficios que el contar una red 4G conlleva como por ejemplo las altas velocidades de internet.

VI. OBJETIVOS

Objetivo General:

Realizar el diseño para la puesta en servicio de un eNodeB en FDD para ofrecer servicios de datos a través de redes móviles 4G en el municipio de Masaya, departamento Masaya.

Objetivos Específicos:

- Detallar los parámetros de diseño y construcción que se incluyen en la planificación de un eNodeB en FDD.
- Indicar los procedimientos de normativas, montaje e instalación de la puesta en servicio de un eNodeB en FDD.
- Mostrar los resultados a través de una simulación y un drive test de la puesta en servicio para su optimización inicial.

VII. DESARROLLO

Capítulo 1

Conceptos básicos y parámetros que se incluyen la planificación de un eNodeB

Para llevar a cabo una construcción de eNodeB se tienen muchos parámetros a considerar por tal razón en este primer capítulo se habla de los conceptos básicos ya que sientan el fundamento sobre el que se construye cualquier red LTE, a la vez que detallamos los parámetros de diseño, construcción, arquitectura de red y protocolos de comunicación de los mismos, que se incluyen en la planificación de un eNodeB en FDD.

1.1 ¿Qué es LTE?

Las siglas LTE Long Term Evolution (LTE, por sus siglas en inglés, lo que en español se traduce como Evolución a largo plazo), en telecomunicaciones, es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos. Es un protocolo de la norma 3GPP definida por unos como una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G), y por otros como un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G).

LTE es una tecnología de transmisión de datos de banda ancha inalámbrica que está principalmente diseñada para poder dar soporte al constante acceso de teléfonos móviles y de dispositivos portátiles a internet.

Podríamos resumir diciendo que LTE es la tecnología utilizada en los teléfonos móviles o celulares de cuarta generación, los llamados Teléfonos 4G, para la bajada y subida de datos desde internet. Realmente los 4G usan LTE Advanced, la misma tecnología, pero más avanzada.

Cada vez utilizamos más internet con una gran cantidad de dispositivos que hay para ello en el mercado, nos descargamos millones de aplicaciones, jugamos con millones de usuarios online, vemos gran cantidad de contenido multimedia, etc. Prácticamente podemos conectarnos a internet en cualquier momento y cada vez somos más los que lo hacemos, bien, pues la tecnología LTE pretende dar un mejor servicio para nosotros. Nos puede proporcionar una gran mejora para subir datos a la red y también para descargarlos.

Técnicamente hablando, LTE o 4G LTE hace referencia a un estándar de comunicación móvil, llamado conectividad LTE, desarrollado por la organización 3GPP (3rd Generation Partnership Project) que detectaron una gran necesidad en asegurar la competitividad del sistema 3G para el futuro, y así poder complacer a los usuarios que demandaban más calidad y mayor rapidez de servicio.

1.2 Características de LTE

1. Alta eficiencia espectral:

Para conectar a una red LTE se hace uso de una interfaz de radio y dicha conexión está basada en multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFMD) para descargar datos (Downlink) y DFTS – OFMD para subir datos (Uplink). Una ventaja más de OFMD frente a otros tipos de multiplexación (WCDMA, TDMA, etc.) es su alta resistencia a las interferencias y multitrayectorias.

2. Entorno Multi-antena:

LTE hace uso de la tecnología MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, que traducido al español quiere decir Múltiple-Entrada Múltiple-Salida) con la cual el equipo del usuario deberá utilizar varias antenas a la vez con la intención de aumentar la cantidad de datos que se pueden enviar y recibir, esto a su vez ofrece una estabilidad e integridad en la transmisión ya que se mantiene la calidad del servicio en situaciones de desplazamiento de 15-120 Km/h (Y en algunos casos se mantiene hasta una velocidad de 350Km/h).

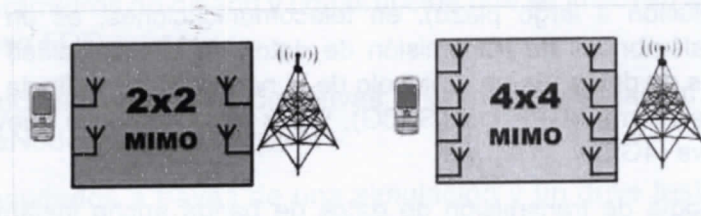


Figura 1. Ejemplos de entornos Multiantenas.

Como se puede apreciar el MIMO está determinado por la cantidad de antenas en el equipo del usuario y a su vez la misma cantidad de antenas deben ser colocadas en el sitio para obtener el mayor desempeño.

3. Arquitectura simplificada:

En una red LTE las radio bases se conectan directamente con el sistema central (Core) de la red; esto resulta benéfico para los operadores porque la inversión en infraestructura es menor y le permite ofrecer al usuario servicios más baratos. En WCDMA cada radio base se conecta a un controlador con Core, con LTE en cambio cada radio base se comunica directamente con el Core de la red.

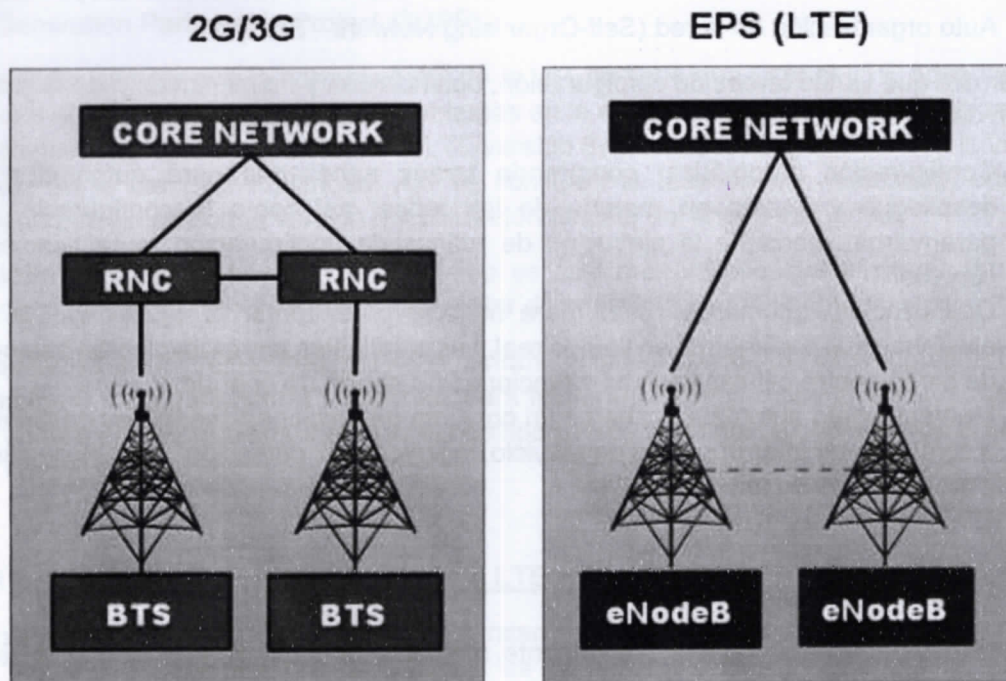


Figura 2. Comparación entre la estructura de red de 2G/3G y la actual LTE.

Como podemos observar en la figura se hace una comparación entre las redes 2G/3G y LTE en la que claramente se detalla cómo están estructuradas ambas redes de entre las cuales LTE es la más optimizada y compacta permitiéndole a la empresa de telefonía invertir menos en recursos y donde la comunicación entre el Core y el usuario es mucho más rápida.

4. Baja Latencia:

Como LTE usa menos nodos para comunicar el equipo del usuario con el Core (y por consiguiente con internet), el tiempo que tarda la red en recibir y dar respuesta a una solicitud del usuario es más corto que en otras tecnologías. Por supuesto, la velocidad que alcanza LTE es mucho mayor que los estándares anteriores de banda ancha móvil.

5. Ancho de banda flexible.

Esta característica es una ventaja para los operadores más que para los usuarios. LTE permite usar anchos de banda de 1, 3, 4, 5, 10, 15 y 20MHz. Así, por ejemplo, un operador que tenga concesionado un ancho de banda limitado, o que quiera usar solo una parte de su total, podría implementar LTE sin problemas.

6. Auto organización de la red (Self-Organising Network - SON)

LTE permite que varias tareas de configuración, optimización y mantenimiento de la red se realicen de forma automática:

- a) Configuración automática: comprende tareas necesarias para automatizar el despliegue y puesta en marcha de las redes, así como la configuración de parámetros, mediante la ejecución de rutinas de configuración, autenticación y conexión.
- b) Optimización automática: Sirve para mejorar o recuperar la calidad de la red ajustando sus parámetros en tiempo real. Las principales tareas involucran balanceo de cargas entre células vecinas y funciones de ahorro de energía.
- c) Mantenimiento automático: abarca un conjunto de funciones esenciales destinadas a contrarrestar interrupciones de servicio, incluyendo la detección, análisis de causa y mecanismos de mitigación.

7. Protocolos simplificados

LTE está diseñada para trabajar nativamente mediante conmutación de paquetes, esto quiere decir que funciona como internet, pues se enfoca en proporcionar servicios de datos. Antes el Core de la red tenía un sistema para enlazar las llamadas (por conmutación de circuitos) y otro para proporcionar servicios de datos (SMS, transferencia de archivos, correo electrónico, navegación Web, etc.).

Ahora todo el Core trabaja bajo conmutación de paquetes. Se ha demostrado que 1MHz de ancho de banda en LTE puede soportar hasta 105 llamadas de VoIP simultáneamente (usando un códec de 8Kb/s). Recordemos que LTE puede trabajar con anchos de banda de 1.4 a 20MHz.

8. Compatibilidad con otros sistemas

Los operadores que ya cuentan con una red instalada tienen la opción de implementar LTE de una manera gradual y a la par de su sistema anterior (como WCDMA o CDMA2000). La arquitectura está pensada para trabajar en un entorno multi-vendor que quiere decir que es una tecnología que trabaja con múltiples proveedores de servicios para producir un solo servicio al final, por lo que los operadores no encontraran obstáculo al construir su red LTE, por ejemplo, radio bases de Nokia-Siemens y el Core con equipos Huawei.

1.3 ¿Qué versiones de LTE existen?

Actualmente existen dos versiones de LTE y LTE Advanced, este último es un estándar de comunicación móvil preliminar, formalmente inscrito como un candidato al sistema 4G en la

tabla N° 1 (Ver en anexos) se hace referencia a las versiones de LTE estandarizado por la 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

Para poder cumplir con la normativa 4G de la UIT se tiene que usar el LTE Advanced, ya que con el LTE versión 8 se tienen problemas en la eficiencia del espectro de subida, esto se soluciona agregando portadoras al LTE versión 8, para adecuar y equiparar a la versión 10 que es la del LTE Advanced. Así se consigue la tasa de bits necesaria, además, retrocompatibilidad con la versión 8 y utilización flexible del ancho de banda.

En definitiva, cuando hoy en día el tiempo es casi más valioso que el propio oro, esta tecnología pretende ser más veloz, con mejor disponibilidad y más segura.

En las tablas 2 y 3 (Ver en anexos) se muestran las categorías de las tecnologías LTE para la versión 8 y los parámetros principales para teléfonos móviles respectivamente, se hace referencia a esto ya que en Nicaragua las compañías de telefonía celular, ofrecen el servicio de LTE reléase 8:

1.3.1 ¿Qué se necesita para optar a LTE Advanced?

El objetivo de 3GPP LTE Advanced es alcanzar y superar los requerimientos de la ITU. LTE Advanced debe ser compatible con los primeros equipos LTE lanzados, y debe compartir frecuencia de bandas con el primer lanzamiento de LTE.

Uno de los importantes beneficios de LTE Advanced es la capacidad de tomar ventaja de la topología avanzada de las redes; redes optimizadas heterogéneas con una mezcla de macros con nodos de bajo consumo como picoceldas, femtoceldas y nuevos nodos de retransmisión. El próximo salto significativo rendimiento en las redes inalámbricas llegará de hacer lo mejor de la topología, y brindar una red cercana al usuario añadiendo muchos de estos nodos de bajo consumo. LTE Advanced incrementa considerablemente la capacidad y el cubrimiento y asegura equidad a los usuarios. LTE Advanced también permite a los proveedores poder usar anchos de banda ultra anchos, hasta 100 MHz de espectro soportando tasas de datos realmente altas.

En la fase de investigación muchas propuestas han sido estudiadas como candidatos para las tecnologías LTE Advanced. Las propuestas pueden ser ligeramente clasificadas en:

- Varios conceptos para repetidores
- Soluciones de antena UE Dual TX para SU-MIMO y diversidad MIMO
- Sistema escalable de ancho de banda excediendo los 20 MHz, potencialmente hasta los 100 MHz
- Optimización del área local de la interfaz aérea
- Red nómada y de área local y soluciones de movilidad
- Uso del espectro flexible

- Radio cognitiva
- Configuración y operación de red de forma automática y autónoma
- Precodificado mejorado y corrección de errores hacia adelante
- Administración y supresión de interferencias
- Asignación del ancho de banda asíncrono para FDD
- OFDMA y SC-FDMA híbrido en enlace de subida
- MIMO coordinado UL/DL inter eNB

1.4. Ventajas de LTE

A continuación se mencionan las ventajas más destacadas de LTE en comparación con sus predecesoras:

1. Alta eficiencia espectral
 - OFDM de enlace descendente robusto frente a las múltiples interferencias y de alta afinidad a las técnicas avanzadas como la programación de dominio frecuencial del canal dependiente y MIMO.
 - DFTS-OFDM (single-Carrier FDMA) al enlace ascendente, bajo PAPR, ortogonalidad de usuario en el dominio de la frecuencia.
 - Multi-antena de aplicación.
2. Muy baja latencia con valores de 100 ms para el Control-Plane y 10 ms para el User-Plane.
3. Separación del plano de usuario y el plano de control mediante interfaces abiertas.
4. Ancho de banda adaptativo: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz
5. Puede trabajar en muchas bandas de frecuencias diferentes.
6. Arquitectura simple de protocolo.
7. Compatibilidad con otras tecnologías de 3GPP.
8. Interfuncionamiento con otros sistemas como CDMA2000.
9. Red de frecuencia única OFDM.
10. Velocidades de pico:
 - Bajada: 326,5 Mbps para 4x4 antenas, 172,8 Mbps para 2x2 antenas.
 - Subida: 86,5 Mbps
11. Óptimo para desplazamientos hasta 15 km/h. Compatible hasta 500 km/h
12. Más de 200 usuarios por celda. Celda de 5 MHz
13. Celdas de 100 a 500 km con pequeñas degradaciones cada 30 km. Tamaño óptimo de las celdas 5 km. El Handover entre tecnologías 2G (GSM — GPRS — EDGE), 3G (UMTS — W-CDMA — HSPA) y LTE son transparentes. LTE nada más soporta hard-handover.
14. La 2G y 3G están basadas en técnicas de conmutación de circuitos (CS) para la voz mientras que LTE propone la técnica de conmutación de paquetes IP (PS) al igual que 3G (excluyendo las comunicaciones de voz).
15. Las operadoras UMTS pueden usar más espectro, hasta 20 MHz.

16. Mejora y flexibilidad del uso del espectro (FDD y TDD) haciendo una gestión más eficiente del mismo, lo que incluiría servicios unicast y broadcast. Reducción en TCO (coste de análisis e implementación) y alta fidelidad para redes de Banda Ancha Móvil.

LTE se destaca por su interfaz radioeléctrica basada en OFDMA, para el enlace descendente (DL) y SC-FDMA para el enlace ascendente (UL).

Para que una tecnología o mejor dicho, un teléfono móvil o celular, pueda llevar la etiqueta 4G debe cumplir unos requisitos, sobre todo de velocidades de subida y bajada de datos, la tecnología LTE Advanced, los cumple todos.

Por ejemplo, para que pueda considerarse 4G, una de las condiciones es que alcance tasas de pico de 1 Gbps en movilidad de baja velocidad (usuario quieto o a pie) y de 100 Mbps en movilidad de alta velocidad (trenes, coches...). Y también muy importante, sin cortes en la conexión. Las únicas 2 tecnologías que pueden considerarse y están aprobadas como 4G son LTE Advanced y WiMAX.

1.5. Topología de la red LTE:

Hemos querido ilustrar la diferencia topológica de las distintas redes y que el lector pueda diferenciar y establecer la relación que tienen las mismas entre sí, como el enfoque de este proyecto está basado en analizar la red 4G o LTE queremos hacer énfasis en que usted note que en la figura No.3 en la parte inferior del esquema se encuentra la red LTE y que esta está formada por tres grandes grupos el equipo del usuario, la EUTRAN y la EPC siendo una de las características de esta red la comunicación existente entre cada eNodeB que facilita la interconexión y el acceso del equipo del usuario a la red y la comunicación con la EPC.

También es importante notar que aunque LTE es considerado una tecnología 4G, actualmente la infraestructura en nuestro país y la gran parte de américa latina no cuenta con los avances suficientes y es por esa razón que 4G posee la característica de que fácilmente se puede conectar con sus predecesoras a pesar de ser mucho más moderna y sencilla.

portadora para multiplexar un conjunto de símbolos sobre un conjunto de subportadoras. Gracias a las propiedades de ortogonalidad de dichas subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción.

Si bien esta técnica es ampliamente conocida desde los años 60, su aplicación práctica en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas es mucho más reciente, principalmente debido a la complejidad que involucraba en los equipos transmisores y receptores. Hoy en día es utilizada por sistemas tales como la Televisión Digital Terrestre según el estándar DVB-T o las redes inalámbricas de área local según los estándares IEEE 802.11a/g, a la vez que constituye la base para la técnica de acceso múltiple OFDMA empleada por el sistema LTE.

1.6.2. SC-FDMA

El Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única, también conocido como SC-FDMA. Es un esquema de acceso múltiple que utiliza modulación de portadora única, multiplexación frecuencial ortogonal y ecualización en el dominio frecuencial. SC-FDMA se utiliza en LTE porque el alto PAR de la señal OFDMA la hace inadecuada para su utilización en equipos móviles porque su gran consumo energético las diferencia entre estas dos tecnologías. En OFDMA los símbolos se transmiten en paralelo mientras que en SCFDMA los símbolos se transmiten en series a cuatro veces la velocidad. De acuerdo con la gráfica de la señal (ver Figura No.4) OFDMA luce como una señal multiportadora mientras que la SC FDMA luce como de portadora simple de allí el nombre de "portadora simple"; esta característica hace que la señal SC-FDMA tenga un PAR menor que la adecuada para el canal ascendente.

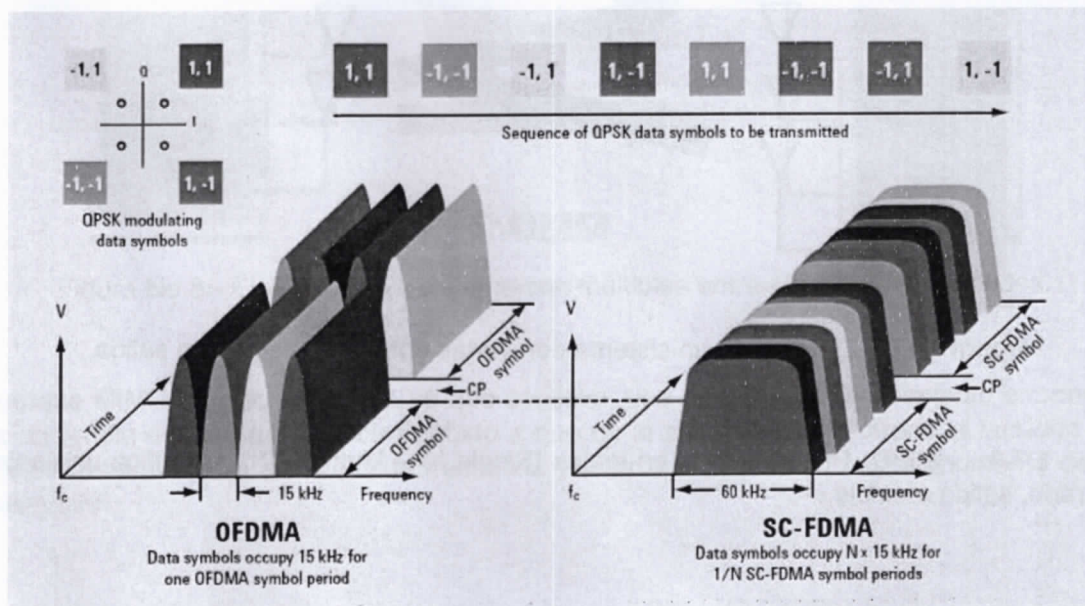


Figura N° 4 – Comparativos de OFDMA y SC-FDMA

1.7. MIMO

Es un sistema para transmitir y recibir y se refiere específicamente a los modos de acceso del canal de radio aunque de hecho, estas letras se corresponden a diferentes tipos de uso de un canal de radio.

Pero para entender MIMO vamos a empezar por definir los tipos de acceso a un canal de radio para establecer comunicación entre equipos.

1.7.1. SISO: Es la abreviatura de "Single In – Single Out" y significa una sola entrada, una sola salida. Y como su nombre indica, sólo tenemos una entrada en el canal de radio, y sólo una salida.

En la siguiente figura es más fácil de entender: tenemos el transmisor de la transmisión de datos (TX) a través de una sola antena, y su recepción en el receptor (RX), también a través de una sola antena.

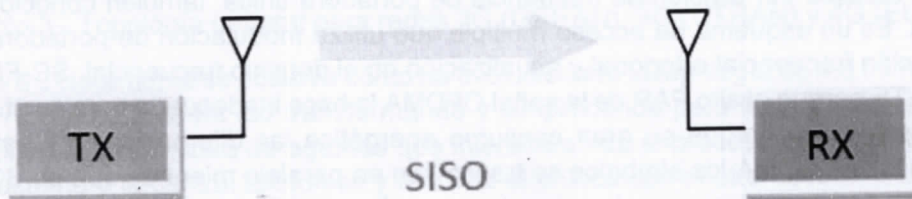


Figura No.5 – Ejemplo de un sistema con una entrada y una salida

1.7.2. MISO: Por sus siglas en Inglés "Multiple In – Single Out" y se utiliza para referenciar a un sistema que tiene varias entradas y una salida.



Figura No.6 - Ejemplo de un sistema con varias entradas, y sólo una salida.

1.7.3. SIMO: Por las siglas en inglés (Single In – Multiple Out) significa una sola entrada, salida múltiple.

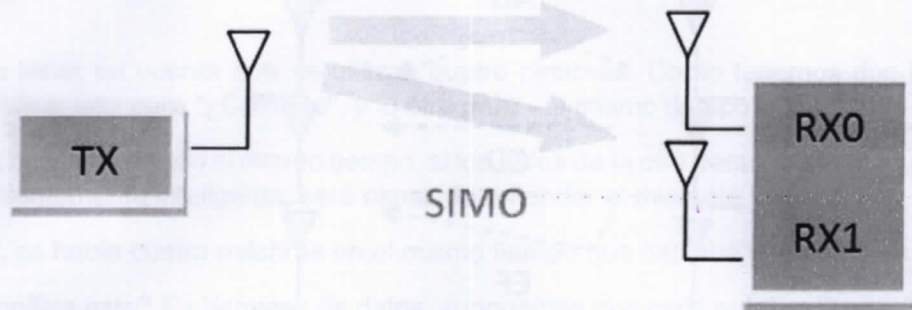


Figura No.7 - Ejemplo de un sistema con una entrada y varias salidas.

Entendida de esta nomenclatura, podemos hablar de MIMO.

1.7.4. MIMO: A primera vista, y comparando con los incisos anteriores, MIMO (Multiple In – Multiple Out) parece simple, pero desafortunadamente no.

Su funcionamiento es mucho más complejo que los otros: ahora contamos con múltiples entradas y múltiples salidas. Y el cómo recuperar la información original correctamente una vez enviada a través de múltiples salidas plantean un mayor desafío

Como se mencionó, aunque en la práctica se puede tener múltiples antenas en el transmisor y antenas múltiples en el receptor, y estas se representan en el siguiente ejemplo con un sistema de dos antenas en cada lado.

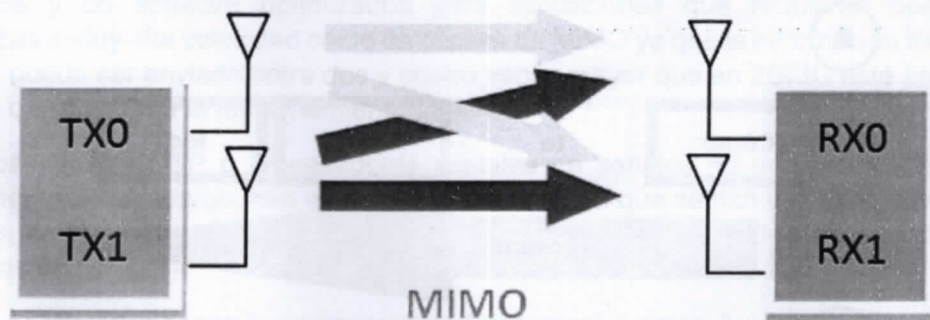


Figura No.8 - Ejemplo de un sistema con múltiples entradas y múltiples salidas.

Aunque MIMO es más complejo, ya que conlleva, una ganancia de rendimiento enorme o la eficiencia del uso del espectro debido a que en la práctica MIMO ofrece la facilidad de dividir la información a la hora de transmitirla y luego reagrupar todo en el momento de la recepción.

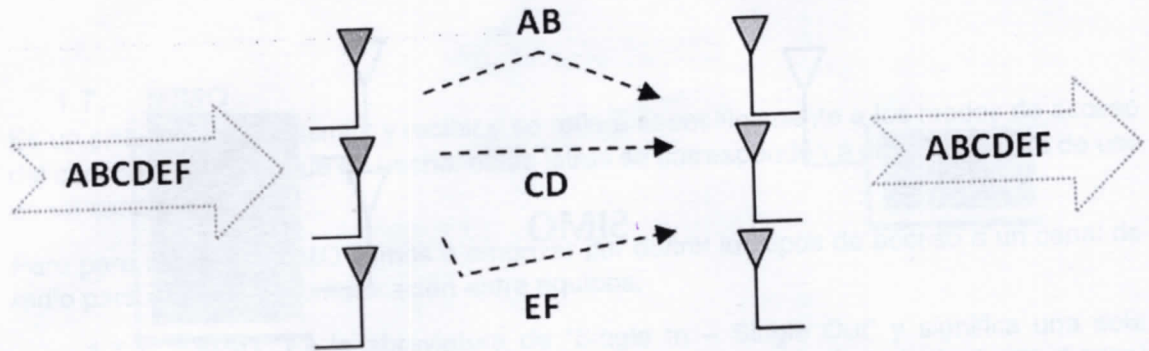


Figura No.9 – Ejemplo de como se ve en la practica la transmisión de datos con la tecnología MIMO.

Pero para detallar cómo funciona MIMO vamos a tratar de mostrar aquí simplemente como funciona, es decir, como es posible. Una buena analogía para fijar el concepto de MIMO es imaginar que tenemos dos bocas y hacemos uso de las dos para preguntar a alguien: "¿Cómo te ha ido?" (Ver la Figura No.10).

En el caso A tenemos una ejemplificación grafica del orden en que se enviaría la información sin usar la tecnología MIMO como lo que sucede en 2G/3G en un tiempo " t " de duración.

En el caso B tenemos la ejemplificación de como el uso de MIMO permite enviar la mitad del paquete en una antena y la otra mitad en otra antena en un tiempo " $t/2$ " de duración cabe destacar que este ejemplo es para un entorno en el que tenemos un arreglo de 2X2 de antenas.

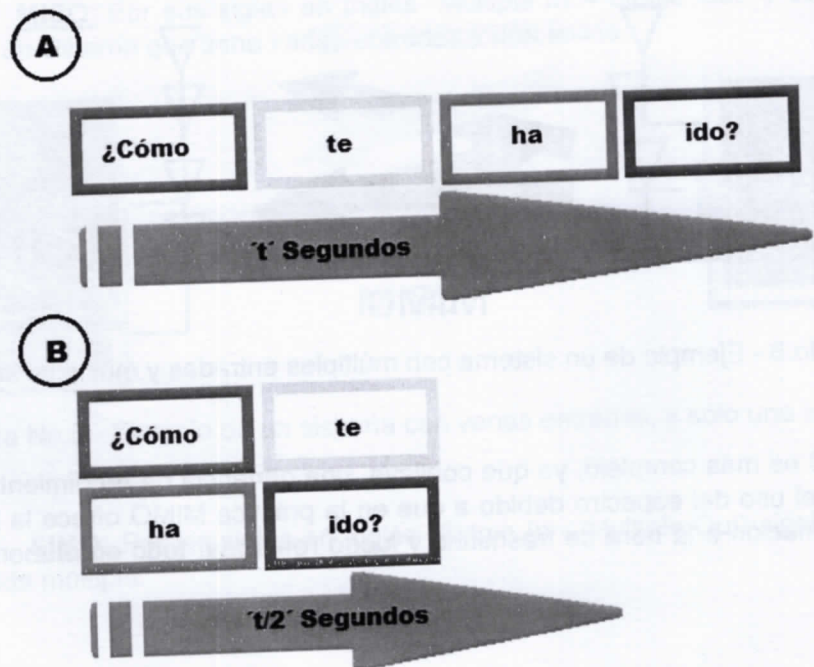


Figura No.10 – Ejemplo "¿Cómo te ha ido?" con y sin el uso de MIMO

Hay que tener en cuenta que se utilizan cuatro palabras. Como tenemos dos bocas, se puede utilizar una para "¿Cómo te", y la otra para - al mismo tiempo - "Ha ido?".

Con dos bocas hablando al mismo tiempo, si los oídos de la otra persona están muy limpios, y lo suficientemente inteligente, será capaz de entender el mensaje.

Es decir, se habla cuatro palabras en el mismo tiempo que hablaba dos palabras.

¿Qué significa esto? En términos de datos, suponemos que cada palabra tiene 100 KB. Así que estamos enviando a 400 KB. Pero ya que estamos transmitiendo dos flujos en paralelo, cada uno con una pieza de información. Es decir, transmitimos los 400 KB en la mitad del tiempo que tomaría para transmitir si lo hiciésemos en cascada o de forma continua.

MIMO permite alcanzar altas tasas de 300 a 600 Mbps. Por lo tanto, la tecnología MIMO se utiliza para mejorar el acceso inalámbrico en un gran número de aplicaciones. Varias normas de acceso tales como LTE, WiMAX, WiFi y HSPA utilizan esta ganancia para lograr las mejoras significativas que cada uno posee.

1.8. ¿Cómo funciona MIMO?

Para que MIMO pueda realmente llevarse a cabo es necesario poseer un agente que sea capaz de reconstruir la información sin importar la el tiempo de retraso que esta posea ya para dicho propósito se utilizan los Procesadores digitales de señales que es un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un conjunto de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad como es el caso de MIMO ya que la información transmitida en LTE puede ser enviada entre dos y cuatro veces mayor que en 2G/3G este procesador es más que vital para el funcionamiento de MIMO.

En el pasado los DSP o procesadores digitales de señales no se desarrollaron como actualmente, sin embargo, han evolucionado mucho, ya que se han vuelto más potentes y capaces de recuperar nuestra señal transmitida cuando se llega al receptor a diferentes intervalos de tiempo.

El DSP de entonces tienen la responsabilidad de tomar los datos, "separados" en diferentes partes, cada parte se envía a través de antenas diferentes al mismo tiempo y en el mismo canal y se produce el proceso inverso en el receptor.

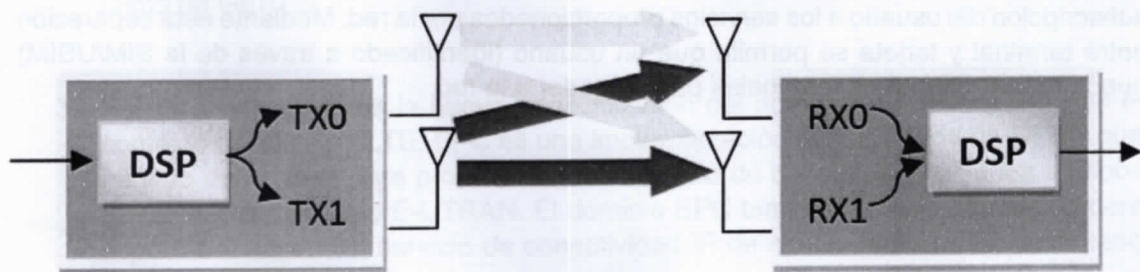


Figura No.11 – Ejemplo de una comunicación en LTE viendo cómo se compone y descomponen los paquetes de información usando DSP

El resultado es obvio: estamos en condiciones de enviar una cierta cantidad de datos en la mitad del tiempo que normalmente tomaría. Cada antena tiene su propio flujo de datos, tanto en transmisión y recepción. Al final, entonces tenemos los datos recibidos.

1.9. Arquitectura general de los sistemas 3GPP

La arquitectura de red contemplados en las familias de especificaciones 3GPP, se pueden definir en 3 grandes bloques generales:

- Equipo de usuario (UE)
- Red de acceso (AN)
- Red Troncal (CN)

Vamos a hablar un poco más a detalle de cada una de estos tres grandes bloques para comprender en que está cambiando LTE en comparación con las demás tecnologías predecesoras a él.

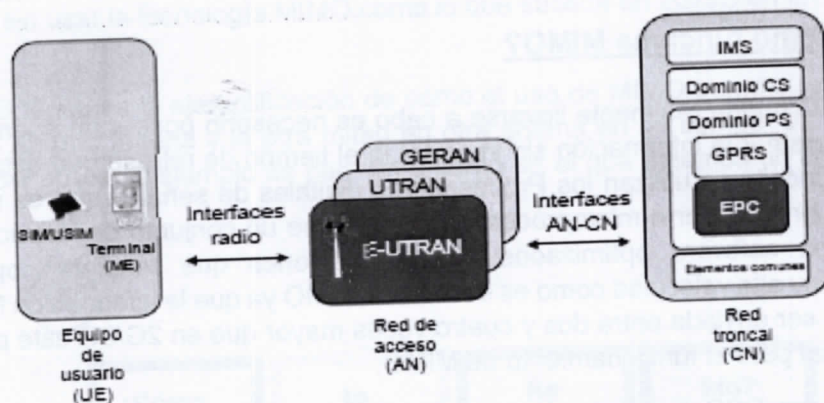


Figura No.12 – se observa en un esquema de los 3 grupos que componen una arquitectura de Red según 3GPP.

1.9.1. Equipo de usuario

El equipo de usuario en 3GPP se compone de dos elementos básicos: el propio dispositivo móvil o terminal (denominado como Mobile Equipment, ME, en las especificaciones) y una tarjeta UICC. La tarjeta UICC, también denominada SIM (denominado como Subscriber Identity Module) en sistemas GSM y USIM (Universal SIM) en UMTS y LTE, es la encargada de almacenar la información y sustentar los procedimientos que tienen que ver con la suscripción del usuario a los servicios proporcionados por la red. Mediante esta separación entre terminal y tarjeta se permite que un usuario (identificado a través de la SIM/USIM) pueda utilizar diferentes terminales para acceder a la red.

1.9.2. Red de acceso

Respecto a la red de acceso, 3GPP ha especificado tres tipos de redes de acceso diferentes:

- GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network)
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- E-UTRAN (Evolved UTRAN).

Las redes de acceso GERAN y UTRAN forman parte del sistema 3G UMTS mientras que E-UTRAN es la nueva red de acceso del sistema LTE. Cada red de acceso define su propia interfaz radio para la comunicación con los equipos de usuario: GERAN, también denominada de forma habitual simplemente como GSM, utiliza un acceso basado en TDMA, la tecnología utilizada en UTRAN es WCDMA y, E-UTRAN ha apostado por la tecnología OFDMA. Asimismo, la interconexión de las redes de acceso a la red troncal se realiza mediante interfaces AN-CN específicas a cada una de ellas.

1.9.3. Red Troncal

Esta se divide de forma lógica en un dominio de circuitos (Circuit Switched, CS, Domain), un dominio de paquetes (Packet Switched, PS, Domain) y el subsistema IP Multimedia (IP Multimedia Subsystem, IMS).

1. El dominio CS: alberga a todas las entidades de la red troncal que participan en la provisión de servicios de telecomunicación basados en conmutación de circuitos, es decir, servicios a los que se les asignan recursos de forma dedicada (circuitos) en el momento de establecimiento de la conexión, manteniéndose éstos hasta la finalización del servicio (e.j., servicios de voz y videoconferencia en redes UMTS). El dominio de circuitos de la red troncal es accesible a través de las redes de acceso UTRAN y GERAN. En cambio, el diseño de E-UTRAN no contempla el acceso al dominio CS ya que todos los servicios se proporcionan a través del dominio PS.
2. El dominio PS incluye a las entidades de la red troncal que proporcionan servicios de telecomunicación basados en conmutación de paquetes: la información de usuario se estructura en paquetes de datos que se encaminan y transmiten por los diferentes elementos y enlaces de la red. En particular, el dominio PS proporciona un servicio de conectividad a redes de paquetes (ejemplo redes IP y X.25). Existen dos implementaciones diferentes del dominio PS: GPRS y EPC. GPRS es la implementación del dominio PS que se desarrolló inicialmente en el contexto de redes GSM y que actualmente también forma parte del sistema UMTS. Los servicios de conectividad por paquetes de GPRS son accesibles tanto a través de UTRAN como de GERAN.
3. Por otro lado, EPC es la nueva especificación del dominio PS desarrollada en el contexto del sistema LTE. EPC es una implementación evolucionada de GPRS que ha sido optimizada para proporcionar un servicio de conectividad IP a los equipos de usuario a través de E-UTRAN. El dominio EPC también ha sido concebido para soportar el acceso al servicio de conectividad IP desde las otras redes de acceso

3GPP (UTRAN y GERAN) así como desde redes no 3GPP (por ejemplo redes CDMA2000, Mobile WiMAX, etc.).

También como parte de la red troncal, el subsistema IMS comprende los elementos de ésta relacionados con la provisión de servicios IP multimedia basados en el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) de IETF (Internet Engineering Task Force2). El subsistema IMS es responsable de la señalización asociada a los servicios multimedia y utiliza como mecanismo de transporte los servicios de transferencia de datos proporcionados por el dominio PS (por ejemplo: el equipo de usuario y los equipos del subsistema IMS o redes externas se comunican entre sí a través del servicio de conectividad IP ofrecido por el dominio PS). En este sentido, el subsistema IMS constituye el plano de control de dichos servicios quedando claramente separadas las funciones asociadas al transporte de la información (funciones asociadas al dominio PS) y las funciones propias de la capa de control de los servicios (señalización a nivel de aplicación). Esta separación entre las funciones de transporte y las de control de los servicios adoptada en LTE está en consonancia con los trabajos desarrollados en otros organismos de estandarización como ETSI (TISPAN) y ITU-T (NGN-GSI) respecto a la especificación de las arquitecturas de los futuros sistemas de telecomunicación basados íntegramente en redes de conmutación de paquetes y que responden a la denominación de Next Generation Networks (NGN).

De la vista general de las redes de la familia de las especificaciones de la 3GPP, para redes LTE, se definen de los 3 bloques anteriormente mencionados:

- Equipo de usuario (UE)
- E-UTRAN (Red de acceso)
- EPC (Red troncal)

En el caso del equipo de usuario, no hay nada más que definir que lo anteriormente descrito, en cambio para la red de acceso y la red troncal, veamos un poco más de cerca estos 3 bloques dejando por el momento a un lado el equipo del usuario del que ya hemos hablado anteriormente.

1.10. Red de acceso evolucionada: E-UTRAN

1.10.1. Arquitectura de E-UTRAN

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada evolved NodeB (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN. La estación base E-UTRAN integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso en GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, NodeB) y equipos controladores (BSC y RNC, respectivamente).

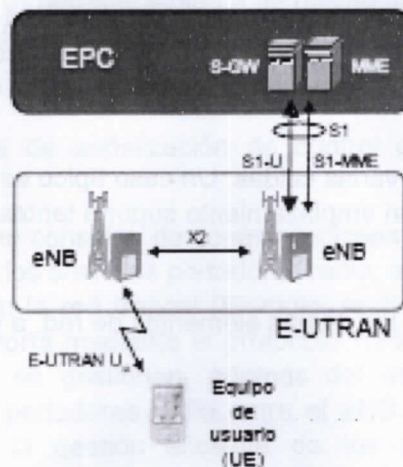


Figura No.13 – Composición de la red de acceso en LTE.

1.10.1.1. Evolved NodeB (eNodeB o eNB)

Tal como se ha comentado en la descripción general de la arquitectura de E-UTRAN, el eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como servicio portador radio (Radio Bearer, RB). El eNB mantiene un contexto de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En dicho contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.).

Sin duda, la funcionalidad clave de un eNB consiste en la gestión de los recursos radio. Así, el eNB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores radio, control de movilidad (por ejemplo, decisión de realizar un handover), asignación dinámica de los recursos radio tanto en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de scheduling), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos, etc.

Otra función importante introducida en la funcionalidad de un eNB es la selección dinámica de la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE. Esta función otorga un grado de flexibilidad muy importante en la operativa de la red. En E-UTRAN, a diferencia de arquitecturas más jerarquizadas como GERAN o las primeras versiones de UTRAN, un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un NB se denomina su pool área. Así, mediante la selección de qué entidad MME va a controlar el acceso de cada usuario, es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs así como aumentar la robustez del sistema frente a puntos de fallo críticos. Esta opción se soporta mediante lo que se denomina la interfaz S1 flexible (S1-fl ex). Al igual que la posibilidad de

interactuar con múltiples MMEs, un eNB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes pasarelas S-GW de la red troncal EPC. Ello conlleva que el eNB albergue funciones de encaminamiento del tráfico de los usuarios hacia la pasarela de red S-GW correspondiente. La elección de S-GW en este caso compete a la entidad MME y no al eNB.

Un eNB puede gestionar una o varias celdas. Un caso típico es el uso de sectorización de forma que, el eNB ubicado en un emplazamiento soporta tantas celdas como sectores.

Los eNodeB se comunican con los demás elementos de red, a través de 3 interfaces:

- E-UTRAN Uu
- X2
- S1

1.10.1.2. E-UTRAN Uu

Es la interfaz de radio que se crea entre el eNodeB y el equipo del usuario que permite la transferencia de la información a través del canal creado. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operativa de la interfaz E-UTRAN Uu se implementan en el eNB.

La interfaz radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal radio:

1. Difusión de señalización de control

Hace referencia a la señalización de control en la zona de cobertura de la celda. La información enviada permite a los equipos de usuario detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación (ejemplo: potencia máxima que pueden utilizar los equipos de usuario en la celda) así como la identidad de los operadores de red a los que puede accederse a través del eNB. La información difundida corresponde tanto a información específica de la red de acceso (denominada información del Access stratum, AS) como de la red troncal (denominada información del non Access stratum, NAS). La difusión de señalización de control también sirve para forzar que un equipo de usuario que no tenga una conexión de control establecida con el eNB, inicie un acceso a la red (función de aviso o paging).

2. Transferencia de paquetes IP

Los servicios de transferencia entre un eNB y un equipo de usuario se denominan servicios portadores radio (Radio Bearers, RB). Es importante destacar que los servicios portadores radio de E-UTRAN han sido diseñados específicamente para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (por ejemplo paquetes X.25, tramas Ethernet, etc.). Por ello, de cara a la optimización del envío de tráfico IP a través de la interfaz radio, los servicios portadores albergan funciones como la compresión de cabeceras de los paquetes IP que permiten reducir el número de bytes enviados por la interfaz radio (las

cabeceras de los paquetes IP pertenecientes a un mismo tipo de tráfico contienen un gran número de parámetros idénticos, por ejemplo, direcciones origen y destino.

3. Transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB.

Es el establecimiento de una conexión de control dedicada resulta imprescindible de cara a poder gestionar el uso de los servicios portadores radio, así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal (Ejemplo: registro del terminal en la red). La conexión de control se soporta mediante el protocolo Radio Resource Control (RRC). A través de dicho protocolo se gestionan, además del establecimiento, modificación y liberación de los servicios portadores radio entre el eNB y el equipo de usuario, otros mecanismos claves para la gestión eficiente de los recursos radio. Entre dichos mecanismos cabe citar el control y envío de medidas radio desde los terminales hacia el eNB y el mecanismo de handover, que permite que un equipo de usuario cambie de celda manteniendo activos tanto la conexión de control como los posibles servicios portadores radio que esté utilizando. Los terminales que mantienen una conexión de control con E-UTRAN se dice que se encuentran en modo conectado o activo, en contraposición al denominado modo idle en que el terminal no tiene una conexión RRC y básicamente se encuentra monitorizando la información de control difundida por la red.

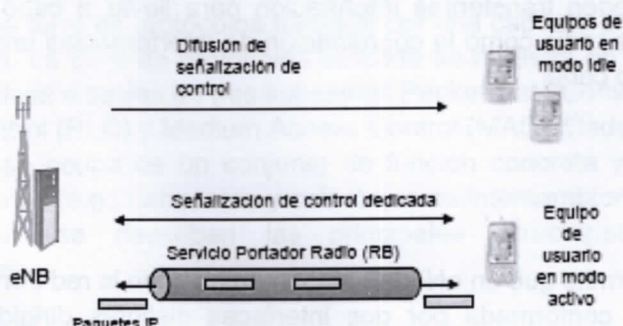


Figura No.14 – Mecanismos de transferencia de la información en el canal radio.

1.10.1.3. X2

Es la interfaz existente que permite la comunicación entre los eNodeB, a la vez permite el intercambio tanto de mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (ejemplo: información para reducir interferencias entre eNBs) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de handover.

Al igual que el plano de usuario de S1, el plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNBs sin garantías de entrega y sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo. La transferencia de datos de usuario entre eNBs se realiza únicamente durante los procedimientos de handover en

los que los paquetes de usuario almacenados en el eNB antiguo se transfieren al eNB nuevo. De esta forma, el cambio de eNB asociado a un procedimiento de handover puede resultar más transparente al usuario ya que se reduce la posible pérdida de paquetes durante el proceso. Nótese que, sobre todo en servicios de datos, el eNB antiguo podría tener acumulados en su buffer de transmisión paquetes IP del usuario en el momento del cambio. Dichos paquetes, cuando el usuario deja de estar accesible a través del eNB antiguo, podrían simplemente descartarse, con la consiguiente penalización en retardo y posible reducción en la tasa de transferencia del servicio asociado ya que la recuperación de dicha información recaería en la operación de las capas superiores (ejemplo: protocolo TCP en la capa de transporte). En cambio, si la propia red es capaz de transferir los paquetes IP del eNB antiguo al eNB nuevo, el impacto en el servicio puede reducirse notablemente.

Respecto al plano de control, entre las funciones y procedimientos soportados en la interfaz X2 destacan:

- Control se realiza la transferencia del contexto de un usuario del eNB antiguo al nuevo y se controla el mecanismo de transferencia de paquetes IP en el plano de usuario de X2. El contexto de usuario contiene información relativa a los servicios portadores radio que tiene establecidos el usuario, claves de seguridad, así como los datos sobre las capacidades del terminal.
- Indicación del estado de carga del eNB. A través de dicha interfaz, eNBs que tengan celdas vecinas pueden transferirse información para llevar a cabo funciones de gestión de recursos radio como la coordinación de interferencias entre celdas que operen en el mismo canal

1.10.1.4. S1

La interfaz S1 es la que permite que un eNodeB se comunice con la red troncal EPC. Esta interfaz en realidad está conformada por dos interfaces distintas dirigidas hacia dos elementos de la red troncal, estas interfaces son:

- S1-MME
- S1-U

1.10.1.4.1. S1-MME

Es la interfaz que se utiliza para comunicar el eNodeB y la entidad de red del EPC denominada MME (Mobility Management Entity). Esta interfaz sustenta el plano de control, esto se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (ejemplo: configuración de la operativa del eNB desde la red EPC a través de S1-MME)

1.10.1.4.2. S1-U

Esta interfaz comunica el eNodeB con la entidad del EPC denominada S-GW (Serving Gateway), y es la que da soporte del plano de usuario, esto se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz (ejemplo: paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U).

Una vez ya hemos hablado acerca de las interfaces que se interactúan entre los usuarios y los eNBs mismos, vamos a adentrarnos aún más en la arquitectura de red hablando acerca de los protocolos que hacen posible la comunicación dentro de la red LTE

1.11. Protocolos

Los protocolos que son utilizados en las interfaces de E-UTRAN se estructuran en base al plano de usuario y al plano de control, y también en la interfaz donde se ejecuta. En el plano de usuario están todos los protocolos utilizados para el envío del tráfico (paquetes IP) que provienen de los servicios a los que acceden los terminales de los usuarios a través de la red. En el plano de control están todos los protocolos necesarios para sustentar las funciones y procedimientos en las diferentes interfaces.

1.11.1. Protocolos en la interfaz E-UTRAN Uu

El envío de paquetes IP entre el eNB y un equipo de usuario a través de la interfaz radio se sustenta en una torre de protocolos formada por una capa de enlace (o capa de nivel 2) y una capa física. La torre de protocolos utilizada se muestra en la Figura 2.9. La capa de enlace se desglosa a su vez en tres subcapas: Packet Data Convergence Protocol (PDCP), Radio Link Control (RLC) y Medium Access Control (MAC). Cada capa/subcapa de la torre de protocolos se ocupa de un conjunto de función concreta y define el formato de los paquetes de datos (e.g., cabeceras y colas) que se intercambian entre entidades remotas. A continuación, se describen las principales características de las diferentes capas/subcapas:

1.11.2. Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

Constituye la capa superior de la torre de protocolos encargada de proporcionar el punto de acceso al servicio portador radio (Radio Bearer, RB). Es decir, los paquetes IP del tráfico de usuario se entregan y se reciben a través del servicio de transferencia proporcionado por la capa PDCP. Las funciones principales de esta capa son la compresión de cabeceras de los paquetes IP y el cifrado de la información para garantizar su confidencialidad e integridad. La cabecera añadida por la capa PDCP básicamente contiene un número de secuencia que identifica al paquete IP enviado y permite realizar una entrega ordenada de los paquetes IP en el extremo receptor, así como detectar posibles duplicados de los paquetes IP (ocasionados por ejemplo en un proceso de handover). Cada servicio portador radio tiene una entidad PDCP asociada.

1.11.3. Radio Link Control (RLC)

La capa RLC permite enviar de forma fiable los paquetes PDCP entre el eNB y equipo de usuario. Para ello, la capa RLC soporta funciones de corrección de errores mediante mecanismos Automatic Repeat ReQuest (ARQ), concatenación, segmentación y reensamblado, entrega ordenada de paquetes PDCP a capas superiores (excepto durante el mecanismo de handover), detección de duplicados y detección/recuperación de errores en el protocolo. Cada servicio portador radio tiene una entidad RLC asociada

1.11.4. Medium Access Control (MAC)

Es la capa encargada de controlar el acceso al canal radio. Para ello, la capa MAC soporta funciones de scheduling dinámico entre equipos de usuario atendiendo a prioridades, multiplexa los paquetes RLC de diferentes servicios portadores radio en los canales de transporte ofrecidos por la capa física (un canal de transporte puede ser compartido por varios servicios portadores de uno o varios equipos de usuario) y realiza un control de errores mediante Hybrid ARQ (HARQ). Los servicios de transferencia que la capa MAC ofrece a la capa RLC se denominan canales lógicos. Existe una única entidad MAC por celda.

1.11.5. Protocolos en las interfaces S1 y X2

La estructura de protocolos utilizada en E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red radio (Radio Network Layer, RNL) y la capa de red de transporte (Transport Network Layer, TNL), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles (UMTS o LTE), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (e.g., IP, ATM). De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL alberga los protocolos utilizados para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red. La separación entre las capas TNL y RNL en E-UTRAN se establece en el documento. Los documentos de base del 3GPP que especifican la estructura de las interfaces S1 y X2 son, respectivamente, 3GPP TS 36.410 y TS 36.420

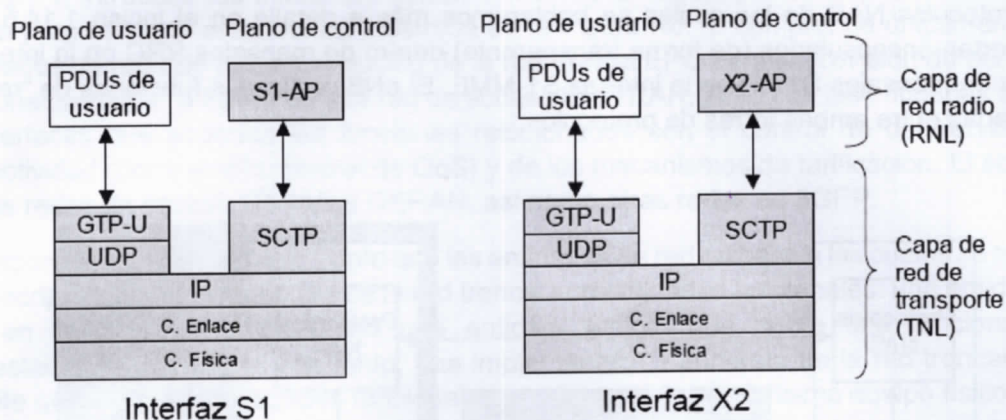


Figura No.15 – Protocolos en las interfaces S1 (izquierda) y X2 (derecha)

1.11.6. Plano de usuario entre UE y EPC

Los paquetes IP contienen la información correspondiente al servicio que el usuario está utilizando (voz, video, datos) así como la señalización a nivel de aplicación (protocolos SIP, RTP, etc.). El eNB realiza funciones de "relay" entre la torre de protocolos PDCP/RLC/MAC/PHY de la interfaz radio y la torre de protocolos de la interfaz S1-U. Es importante destacar que el eNB no realiza ninguna decisión de encaminamiento a partir de la información contenida en las cabeceras IP de los paquetes de usuario, sino que simplemente se ocupa de su transferencia entre las dos interfaces atendiendo a los servicios portadores establecidos.

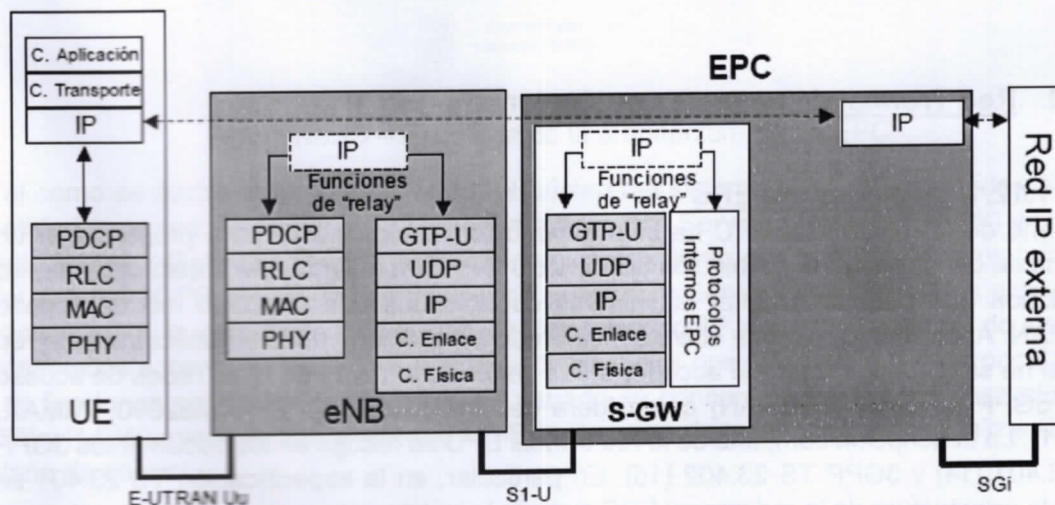


Figura No.16 – Protocolos del plano de usuario en E-UTRAN

1.11.7. Plano de control entre UE y EPC

Los protocolos NAS de los cuales se hablaremos más a detalle en el inciso 1.14.5, se transportan encapsulados (de forma transparente) dentro de mensajes RRC en la interfaz radio y en mensajes S1-AP en la interfaz S1-MME. El eNB realiza las funciones de "relay" necesarias entre ambas torres de protocolos.

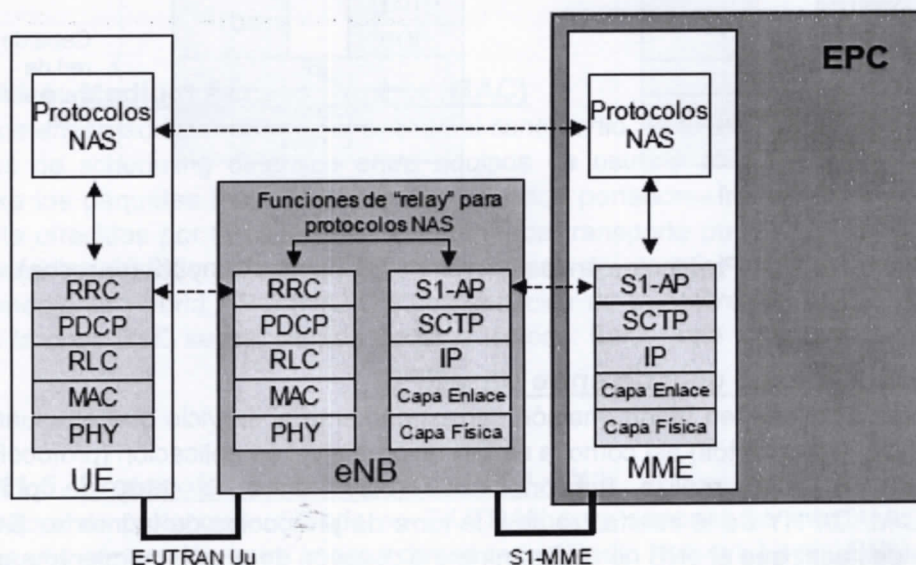


Figura No.17 – Protocolos del plano de control en E-UTRAN

1.12. Red Troncal de paquetes evolucionada (EPC)

1.12.1. Arquitectura EPC

El diseño de la red troncal EPC ha sido concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP (evolución del servicio GPRS) mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso EUTRAN. Asimismo, otro factor clave considerado en el diseño de la arquitectura de la red troncal ha sido la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como fuera del ámbito del 3GPP (cdma2000, WiMAX, 802.11). La descripción completa de la red troncal EPC se recoge en los documentos 3GPP TS 23.401 [14] y 3GPP TS 23.402 [15]. En particular, en la especificación TS 23.401 se cubre la arquitectura de la red troncal EPC cuando la red de acceso es E-UTRAN, así como la utilización de redes de acceso 3GPP alternativas o complementarias como UTRAN y GERAN. Por otro lado, la especificación TS 23.402 extiende la arquitectura de la red troncal EPC para soportar el acceso a través de otras redes no 3GPP.

De cara a introducir los diferentes componentes de la arquitectura completa de EPC de forma progresiva, la arquitectura mostrada en la Figura No.18 comprende únicamente las entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC para la provisión de servicios de conectividad IP a través de una red de acceso E-UTRAN, junto con las entidades de red e interfaces que soportan las funciones relacionadas con el control de del servicio de conectividad (por ejemplo, control de QoS) y de los mecanismos de tarificación. El soporte de las redes de acceso UTRAN y GERAN, así como otras redes no 3GPP.

Es importante matizar en este punto que las entidades de red en base a las cuales se realiza la descripción de la arquitectura de la red troncal son entidades funcionales: una entidad de red en 3GPP se concibe como una entidad "lógica" que cubre una funcionalidad perfectamente delimitada. Por tanto, una implementación concreta de la red troncal EPC admite que diferentes entidades funcionales puedan residir en el mismo equipo físico.

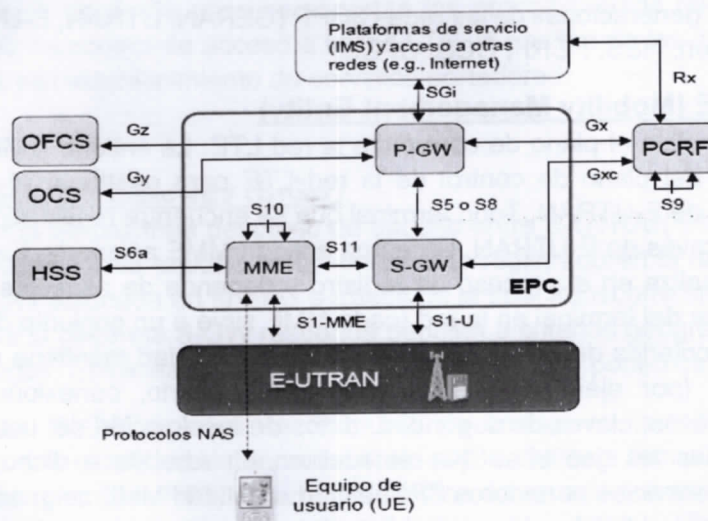


Figura No.18 – Esquema de la arquitectura de un EPC.

Tal como se ilustra en la Figura No.18, el núcleo del sistema EPC está formado por tres entidades de red: MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas (S-GW y P-GW) mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control.

La interconexión de la red de acceso E-UTRAN a la EPC se realiza a través de la interfaz S1. En particular, la interfaz S1-MME que sustenta el plano de control termina en la entidad MME mientras que la interfaz S1-U del plano de usuario termina en el S-GW.

La entidad MME termina el plano de control de los equipos de usuario conectados a la red LTE mediante los protocolos NAS y controla las funciones de transferencia del plano de usuario de red LTE a través de la interfaz S114 con la pasarela S-GW. Asimismo, la entidad MME se conecta a la entidad HSS a través de la interfaz S6a para acceder a la información asociada a los usuarios de la red que estén autorizados a establecer conexiones a través de E-UTRAN. Tal como puede observarse en la Figura No.18, las entidades MME también pueden comunicarse entre ellas mediante la interfaz S10.

1.12.2. Entidades de red e interfaces

Las entidades de red, pueden ser divididas en 2 grupos generales, de los cuales hablaremos un poco luego de haberlos mencionado:

1. Las entidades del EPC: son las entidades definidas por la 3GPP que conforman el EPC según el reléase 8. Estas entidades son: MME, S-GW, P-GW.
2. Entidades comunes de las redes 3GPP: son entidades que se pueden encontrar en las diversas generaciones de las redes 3GPP (GERAN, UTRAN, E-UTRAN), y estas entidades son: HSS, PCRF, OCS, OFCS.

1.12.3. MME (Mobility Management Entity)

Es el nodo que canaliza el plano de control de la red LTE. La entidad MME constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. La elección de la entidad MME se realiza en el proceso de registro y depende de aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red (cada MME sirve a un conjunto determinado de eNBs) así como a criterios de balanceo de carga. Dicha entidad mantiene un contexto de datos del usuario (por ejemplo, identificadores del usuario, conexiones y servicios portadores EPS activos, claves de seguridad, datos de localización del usuario en la red, etc.) y articula todas las gestiones que se realicen en relación a dicho usuario (e.g., establecimiento de servicios portadores EPS, etc.). La entidad MME asignada a un usuario puede ir cambiando atendiendo a la movilidad de dicho usuario dentro de la zona de servicio de la red. Las principales funciones de la entidad MME son las siguientes:

- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. A partir de los datos de usuario obtenidos desde el HSS, la entidad MME se encarga de llevar a cabo el control de acceso a la red mediante la identificación, autenticación y autorización de los usuarios que se conectan a través de E-UTRAN.
- Gestión de los servicios portadores EPS. La entidad MME es la encargada de articular la señalización necesaria para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores EPS sobre los cuales se sustenta el envío de paquetes IP entre los equipos de usuario y la red externa.
- Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle (i.e. terminales que no tienen ninguna conexión de control establecida con E-UTRAN). La entidad MME es la encargada de hacer un seguimiento de la localización de los usuarios dentro del área de servicio de la red. Para ello, se definen unas áreas de seguimiento (Tracking areas) y unos procedimientos asociados (denominados Tracking Area Update) que permiten disponer de información de localización de todos los usuarios que se

encuentren registrados en la red LTE. Esta gestión, conocida específicamente como gestión de localización.

- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y redes 3GPP. La entidad MME de la EPC y la entidad SGSN pueden intercambiarse información relativa a los equipos de usuario conectados bien a través de E-UTRAN o de UTRAN/GERAN para poder gestionar, por ejemplo, mecanismos de gestión de movilidad conjunta (la red troncal GPRS así como la red troncal EPC pueden intercambiar información relativa a las áreas de seguimiento). Dicha señalización se realiza a través de la interfaz S3 entre MME y SGSNs. También, a través de esta interfaz, se gestionan los procedimientos de reubicación del plano de usuario en las entidades de la red troncal (por ejemplo, el plano de usuario de un terminal conectado inicialmente a UTRAN y que fluye a través de un determinado SGSN, se reubica hacia una pasarela S-GW cuando el terminal cambia de UTRAN a E-UTRAN).
- Terminación de los protocolos de señalización NAS (Non Access Stratum). Los protocolos NAS fluyen entre el equipo de usuario y la entidad MME que tenga asignada. A través de ellos se soportan los procedimientos relacionados con las funciones de control de acceso a la red LTE, la gestión de las conexiones a redes externas y el establecimiento de servicios portadores

1.12.4. Serving Gateway (S-GW)

Esta entidad actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Al igual que sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La asignación de la pasarela S-GW responde también a criterios geográficos, así como de balanceo de cargas. Entre las principales funciones del S-GW podemos destacar:

- La entidad S-GW proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs. De esta forma, en un proceso de handover entre dos eNBs, el cambio del plano de usuario puede únicamente derivar en un cambio del servicio portador S1 entre los eNBs implicados y el S-GW, manteniéndose sin cambios el resto del plano de usuario (camino entre S-GW y P-GW).
- La funcionalidad de punto de anclaje también se aplica a la gestión de movilidad con las otras redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN). De esta forma, equipos de usuario que se conecten a la red LTE a través de UTRAN o GERAN, disponen también de un S-GW asociado en la red troncal EPC por el que fluye su plano de usuario.
- Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo idle. En la red LTE, el plano de usuario entre S-GW y el equipo de usuario puede "desactivarse" cuando no haya tráfico para transmitir. Es decir, aunque las conexiones y servicios portadores EPS permanezcan activos, un terminal puede encontrarse en estado idle y, por tanto, no estar conectado a ningún eNB. Así pues, cuando se recibe tráfico de la red externa dirigido a un usuario en modo idle, este tráfico llega hasta la entidad S-GW a cargo de ese usuario, que retiene temporalmente los paquetes IP e inicia (a través de la

señalización pertinente con la entidad MME) el restablecimiento del plano de usuario hasta el equipo de usuario.

- Encaminamiento del tráfico de usuario. Como todo el tráfico de un usuario fluye a través de una pasarela S-GW, ésta alberga la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida (tráfico IP proveniente de los equipos de usuario) hacia la pasarela (o pasarelas) P-GW que corresponda y el tráfico de bajada (proveniente de las pasarelas P-GW) hacia el eNB a través del cual se encuentra conectado el equipo de usuario. Es importante destacar que, aunque un usuario puede tener múltiples conexiones establecidas con diferentes pasarelas P-GW de forma simultánea, todo el tráfico atraviesa una única S-GW.

1.12.5. PDN Gateway (P-Gw)

Esta entidad es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas (denominadas como Packet Data Network, PDN, en las especificaciones 3GPP). Es decir, a través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta "visible" en la red externa. Por tanto, los paquetes IP generados por el usuario se inyectan en la red externa a través de esta pasarela y, viceversa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW. Entre las principales funciones de la pasarela P-GW podemos destacar:

- Aplicación de las reglas de uso de la red (i.e., policy control) y control de tarificación a los servicios portadores que tenga establecidos el terminal. Estas funciones forman parte del marco PCC.
- La asignación de la dirección IP de un terminal utilizado en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW correspondiente. La dirección puede ser una dirección IPv4, IPv6 o bien un par de direcciones (IPv4, IPv6). El mecanismo de asignación de la dirección se sustenta en la señalización propia de la red LTE (por ejemplo, el terminal recibe la dirección IP a través de los protocolos NAS) o bien en la utilización de protocolos propios de redes IP como DHCP.
- La pasarela P-GW actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes no 3GPP. La pasarela alberga funciones de Home Agent (HA) para proporcionar continuidad de servicio en caso de utilizar el protocolo Mobile IPv4 (MIPv4) para gestionar la movilidad entre la red LTE y, por ejemplo, una red WiMAX. Además de MIPv4, la pasarela incluye soporte de movilidad para los protocolos Dual Stack MIPv6 (DSMIPv6) y Proxy MIPv6 (PMIPv6).
- El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS correspondiente. Esto permite, por un lado, aplicar las reglas de uso y tarificación antes comentadas, y por otro, aplicar funciones de inspección y verificación de la validez de los paquetes IP que cursa la red (packet screening). De esta forma, la pasarela puede descartar los paquetes IP que sean considerados como tráfico anómalo (por ejemplo, un equipo de usuario envía paquetes con una dirección o puertos para los que no está autorizado).

1.12.6. HSS (Home Subscriber Server)

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a subscripción del usuario (i.e., perfil de subscripción) como información necesaria para la propia operativa de la red. La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red encargadas de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales (por ejemplo, MME de red troncal EPC, SGSN de la red GPRS, MSC del dominio de circuitos y también desde servidores de control del subsistema IMS). El HSS contiene tanto información permanente que sólo puede ser cambiada mediante procesos administrativos (por ejemplo, campos creados al dar de alta a un usuario en la red o cambiar las condiciones de su contrato), así como información temporal que cambia a raíz de la propia operación del sistema (por ejemplo, localización del terminal dentro de la zona de servicio del sistema). Así, entre la información almacenada en el HSS podemos destacar: identificadores universales del usuario (por ejemplo, International Mobile Subscriber Identity, IMSI), identificadores de servicio (por mencionar algunos como Mobile Station ISDN, MSISDN); información de seguridad y cifrado (vectores de autenticación); información de localización del usuario en la red (identificador de la entidad de control, ejemplo, MME, que proporciona el plano de control hacia un determinado usuario); e información necesaria para la provisión de los servicios de acuerdo con las condiciones establecidas en el contrato de subscripción (ejemplo, identificador de la red externa y parámetros de calidad de servicio del servicio portador por defecto).

La entidad HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas inicialmente en redes GSM y que se denominan HLR (Home Location Register) y AuC (Authentication Center), a las que se añadieron funciones adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE. En la Release 8 correspondiente al sistema LTE, el HSS abarca:

- El subconjunto de funciones de las entidades HLR/AuC necesarias para el funcionamiento del dominio de paquetes EPC, así como GPRS. El acceso a HSS desde la red EPC se realiza desde la entidad de red MME mediante la interfaz S6a.
- El subconjunto de funciones de las entidades HLR/AuC necesarias para el funcionamiento del dominio CS.
- Funciones de soporte asociadas a las funciones de control del subsistema IMS como la gestión de información relativa a la subscripción de servicios IMS y el almacenamiento de perfiles de usuario asociados a servicios IMS.

La información almacenada en el HSS se detalla en la especificación 3GPP TS 23.008. Las entidades de red que acceden a la base de datos HSS para gestionar el acceso al servicio de conectividad de la red troncal EPC son las siguientes. Cuando el acceso se realiza a través de E-UTRAN, la entidad MME es la que interactúa con la base de datos a través de la interfaz S6a. Cuando el acceso es a través de UTRAN o GERAN, el acceso a HSS se

realiza desde el Server GPRS Support Node (SGSN) mediante la interfaz S6d. Cuando el acceso es a través de redes no 3GPP, el acceso se canaliza a través del servidor AAA mediante la interfaz SWz.

1.13. Interfaces entre entidades de red

1.13.1. Interfaz P-Gw – Redes Externas

A través de la interfaz SGi se realiza la interconexión de la pasarela P-GW de la red LTE con redes externas IP. La red externa puede ser tanto una red pública (e.g., Internet) como cualquier otra red privada (e.g., intranet corporativa, red de un ISP, red interna del propio operador para la provisión, por ejemplo, de servicios IMS). La interfaz SGi es equivalente a la interfaz Gi especificada para la interconexión de la pasarela GGSN del dominio GPRS con redes externas.

La interfaz SGi soporta la interconexión tanto a redes IPv4 como IPv6. Desde la perspectiva de la red externa, la pasarela P-GW es vista como un router IP convencional. Sobre esta base, existen dos modelos básicos de interconexión de la red LTE con la red externa: acceso transparente y acceso no transparente

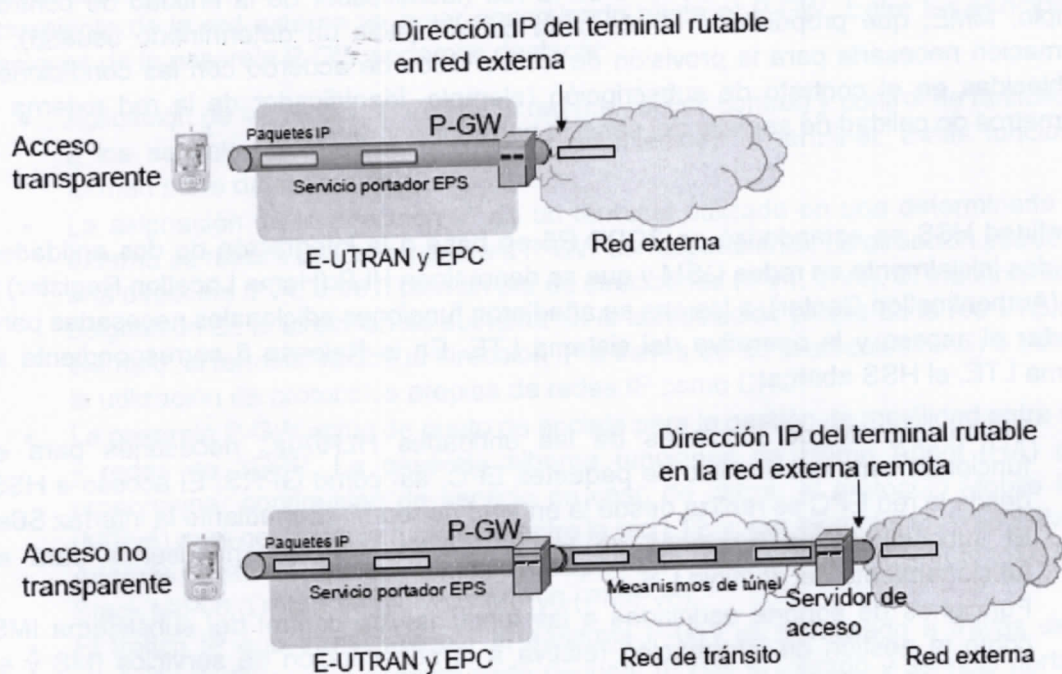


Figura No.19 – Tipos de interconexión a través de SGi.

Bajo el modelo de interconexión transparente, la dirección IP asignada al terminal es válida en la propia interfaz SGi con la red externa, de forma que el terminal es "visible" en la red

externa a la que proporciona acceso la pasarela P-GW a través de dicha dirección. En cambio, en el modelo no transparente, la red LTE ofrece un acceso a una red externa remota de forma que el espacio de direcciones utilizado por los terminales pertenece al espacio de direcciones de la red externa remota. La conexión entre la red LTE y la red remota admite diferentes soluciones tales como el establecimiento de un túnel IP (e.g., IPsec, GRE, etc.) entre la pasarela P-GW y el servidor de acceso remoto. En el modelo no transparente, puede ser necesario que la pasarela P-GW participe en, e.g., funciones de autenticación del usuario y asignación de direcciones dinámicas pertenecientes a la red remota.

La interfaz SGi y los diferentes tipos de acceso a la red externa se especifican en 3GPP TS 29.061.

1.13.2. Interfaz P-Gw – S-Gw (S5 y S8)

Las interfaces S5 y S8 proporcionan el soporte para la transferencia de paquetes de usuario entre las pasarelas S-GW y P-GW. La interfaz S5 se utiliza en situaciones donde ambas pasarelas pertenecen a la misma red mientras que la interfaz S8 es la utilizada en caso de escenarios de itinerancia (roaming) donde el S-GW pertenezca a la red visitada (denominada Visited PLMN) y el P-GW a la red matriz (denominada Home PLMN).

Ambas interfaces S5 y S8 admiten dos implementaciones diferentes: una basada en el protocolo GTP y otra basada en el protocolo PMIPv6. La implementación basada en GTP proporciona funciones de creación/eliminación/modificación/cambio del servicio portador del plano de usuario entre S-GW y P-GW de los usuarios conectados a la red LTE. En el caso de la implementación basada en PMIPv6, no se soporta ninguna gestión de servicios portadores entre P-GW y S-GW de forma que, estrictamente el servicio portador EPS de la red LTE se extiende desde el equipo de usuario hasta el S-GW (y no hasta la pasarela P-GW, como sería el caso de utilizar GTP en la interfaz S5/S8). Ello es debido a que el protocolo PMIPv6 está concebido para ofrecer exclusivamente un servicio de movilidad entre el S-GW y el P-GW y no dispone de los mecanismos necesarios para señalar parámetros de QoS. Por tanto, las interfaces S5 y S8, en el caso de la variante basada en PMIPv6, básicamente ofrecen un servicio de conectividad entre las pasarelas implicadas de forma que todos los flujos de datos son llevados a través del mismo túnel (sin distinción de servicios portadores).

La descripción funcional de la interfaz S5/S8 basada en GTP se aborda en TS 23.401 y el protocolo en TS 29.274. La funcionalidad de la variante PMIPv6 se proporciona en TS 23.402 y el protocolo en TS 23.275.

1.13.3. Interfaz MME – S-Gw (S11)

Esta interfaz permite controlar la operativa del plano de usuario en la red troncal EPC desde la entidad de red MME. Así, los procedimientos soportados en esta interfaz permiten la creación/eliminación/modificación/cambio de los servicios portadores que los terminales tienen establecidos a través de la red troncal LTE. En este sentido, dado que la entidad MME es la entidad de control que termina los protocolos NAS con los usuarios, la interfaz

S11 permite establecer el nexo del plano de control con las funciones del plano de usuario de la red troncal LTE.

Las acciones a realizar sobre la interfaz S11 tienen su origen en los diferentes eventos relacionados con la señalización entre el terminal y la red troncal (e.g., registro de un terminal en la red LTE, incorporación de un nuevo servicio portador EPS a una conexión, establecimiento de una nueva conexión con otra red externa, indicación de handover, etc.) así como en eventos originados desde la propia red troncal EPC (e.g., notificación de que existe tráfico almacenado en el S-GW pendiente de ser enviado a un terminal en modo idle, modificación de servicios portadores iniciada por la pasarela P-GW, etc.).

La interfaz S11 también da soporte al proceso de reubicación de la pasarela S-GW asociada a un terminal mediante la transferencia de contextos entre la pasarela antigua y la nueva (en el contexto se almacena toda la información relacionada con configuración del plano de usuario en el S-GW). Asimismo, durante la ejecución de un procedimiento de handover que implique una reubicación de S-GW, el nodo MME controla los mecanismos de transferencia de paquetes entre las dos posibles pasarelas involucradas.

La funcionalidad de esta interfaz se recoge en 3GPP TS 23.401 y el protocolo GTPv2-C que da soporte a esta interfaz se especifica en TS 29.274.

1.13.4. Interfaz MME – MME (S10)

La interfaz S10 se define entre dos entidades MME. Su principal función es el soporte del mecanismo de reubicación de la entidad MME. De esta forma, cuando la entidad MME que controla a un determinado equipo de usuario debe cambiarse (debido, por ejemplo, a su movilidad), a través de la interfaz S10 se realiza la transferencia del contexto de dicho usuario entre MMEs. En este caso, el contexto de un terminal en una entidad MME abarca toda la información relacionada con la gestión de los servicios portadores (e.j., configuración de las conexiones activas) y la gestión de movilidad (e.j., área de seguimiento donde se encuentra localizado el terminal), junto con otra información de seguridad (claves de cifrado), características del terminal (classmark), parámetros de subscripción del usuario obtenidos desde el HSS, etc. La funcionalidad de esta interfaz se recoge en 3GPP TS 23.401 y el protocolo GTPv2-C que da soporte a esta interfaz se especifica en TS 29.274.

1.13.5. Interfaz HSS – MME (S6a)

Esta interfaz permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y la entidad del plano de control MME de la red troncal EPC. A través de la interfaz S6a se da soporte a diferentes funciones:

- Mantenimiento de información de gestión de la localización. La base de datos HSS mantiene unos campos que contienen la identificación del nodo MME que controla a cada usuario registrado en la red. Esta información la actualiza el nodo MME correspondiente a través de la interfaz S6a. Esta información permite que cuando un terminal se conecta a un MME nuevo, dicho MME pueda recuperar información relativa al nodo MME que previamente dio servicio al terminal de cara a realizar la reubicación pertinente.

- Autorización de acceso a la red LTE. La base de datos HSS almacena los datos de subscripción de los usuarios que condicionan el acceso a los servicios que ofrece la red. El perfil de subscripción de un usuario se transfiere desde el HSS al nodo MME, que es la entidad encargada de ejecutar las comprobaciones pertinentes. Así, a modo de ejemplo, la entidad MME puede autorizar o no la conexión de un usuario a una red externa en función de que dicha red externa forme parte de lista de redes externas permitidas según la subscripción del usuario.
- Autenticación de los usuarios. A través de S6a, el nodo MME se descarga la información que permite llevar a cabo el procedimiento de autenticación desde el MME. Esta información se denomina vector de autenticación EPS.

Notificación y descarga de la identidad de la pasarela P-GW que utiliza un usuario en una conexión. El almacenamiento en la base de datos HSS de información relativa a las pasarelas P-GW que dan servicio al usuario se utiliza para proporcionar soporte a los mecanismos de movilidad entre LTE y otras redes no 3GPP.

La interfaz también soporta escenarios de itinerancia donde una entidad MME de la red de un operador puede acceder a la base de datos HSS de otro operador. La interfaz S6a se basa en el protocolo Diameter. La funcionalidad de la interfaz se recoge en TS 23.401 y la especificación de la extensión (i.e., Diameter application) del protocolo se aborda en TS 29.272.

1.14. Protocolos e Interfaces

Dado que muchas de las interfaces están basadas en una misma torre de protocolos, la descripción se realiza en base a los diferentes protocolos utilizados. Los protocolos NAS (Non Access Stratum) entre el equipo de usuario y la entidad de red MME también se detallan en este apartado. Es importante destacar que en la red troncal EPC todas las interfaces se soportan sobre una torre de protocolos que utiliza IP como capa de red, a diferencia de lo que ocurría con las familias anteriores de sistemas 3GPP donde algunas interfaces estaban soportadas sobre los protocolos ATM o SS7.

1.14.1. Interfaces basadas en GTP-U

Todas las interfaces para el transporte de información de plano de usuario entre los diferentes elementos de la red troncal EPC se soportan a través del protocolo GTP-U, excepto la variante de la interfaz S5/S8 basada en PMIPv6. La torre de protocolos utilizada en las interfaces basadas en GTP-U y el listado de dichas interfaces se proporciona en la Figura 2.16. Nótese que en la tabla ilustrada en la figura se indica el uso de GTP-U también sobre las interfaces S4 y S12 que forman parte de la solución de interworking entre EPC y el resto de redes 3GPP. Además, el protocolo GTP-U también se utiliza en el plano de usuario de las interfaces internas de E-UTRAN, S1-U y X2-U.

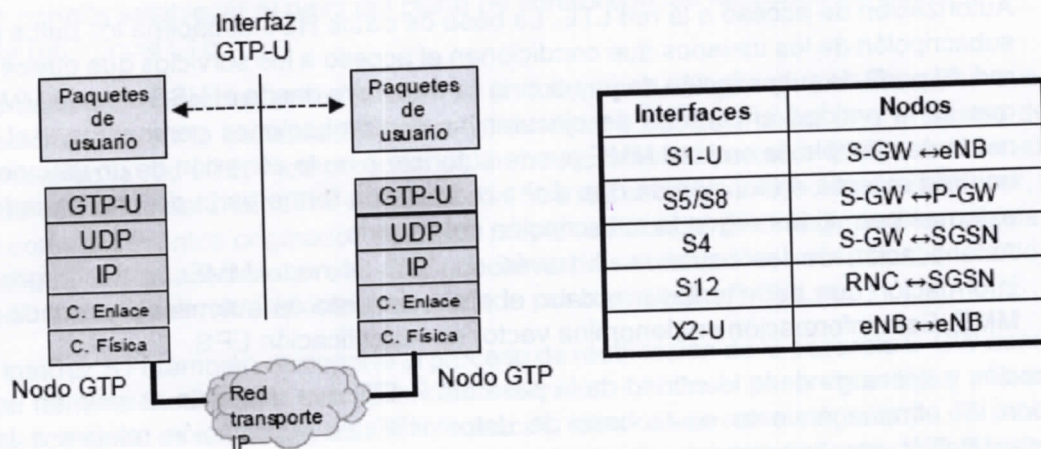


Figura No.20 – Interfaces basadas en GTP-U

El protocolo GTP-U fue desarrollado por 3GPP para dar respuesta a la implementación del servicio GPRS. En este sentido, el plano de usuario entre los nodos de red del dominio GPRS así como el plano de usuario de la interfaz lu-PS de UTRAN se soportan también sobre dicho protocolo.

GTP-U proporciona un mecanismo de encapsulado para el envío de paquetes de usuario (e.g., paquetes IP del usuario) entre nodos de una red IP. Los paquetes que corresponden a un mismo servicio portador EPS se transportan con un identificador de túnel único denominado TEID (Tunnel Endpoint Identifier).

A modo ilustrativo, en la Figura No.20 se representa la implementación de un túnel entre las pasarelas S-GW y P-GW (interfaz S5/S8) mediante GTP-U. Tal como se observa en la figura, los paquetes IP del usuario llegan a la pasarela S-GW provenientes desde el equipo de usuario a través de los servicios portadores radio y S1. Las direcciones IP origen y destino de los paquetes de usuario recibidos en el S-GW contienen, respectivamente, la dirección asignada al terminal móvil y la dirección del equipo de la red externa al que vaya dirigido el paquete. Nótese que estas direcciones no tienen por qué pertenecer al espacio de direcciones IP utilizado en la red de transporte que une las pasarelas S-GW y P-SW, de ahí la necesidad de establecer el túnel. Así, para proceder al envío de estos paquetes de usuario hacia la pasarela P-GW, el nodo S-GW los encapsula mediante el protocolo GTP-U. La cabecera del protocolo GTP-U ocupa un mínimo de 6 bytes y contiene el identificador de túnel TEID, junto con otros parámetros tales como identificadores de secuencia y longitud del paquete. El paquete GTP resultante tiene como dirección IP origen la dirección de la pasarela S-GW y como dirección destino la dirección IP de la pasarela P-GW. De esta forma, el paquete GTP puede ser encaminado en la red de transporte IP que une a ambas pasarelas. Una vez el paquete GTP llega a la pasarela P-GW, ésta extrae el paquete IP del usuario y lo inyecta en la red externa.

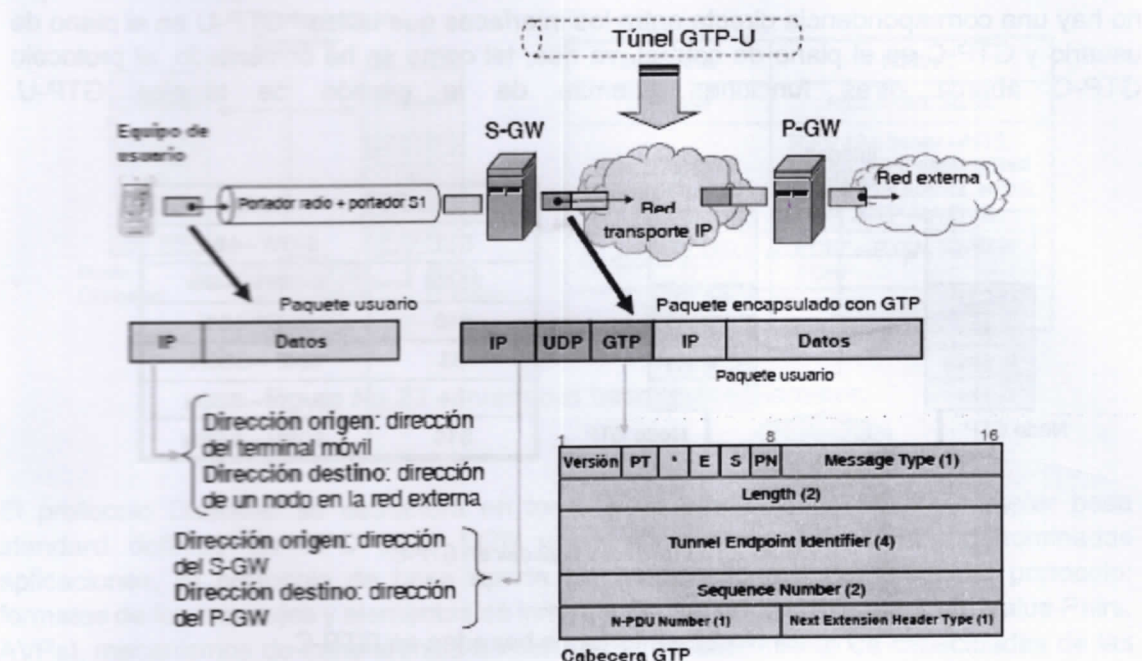


Figura No.21 – Ilustración del funcionamiento de un túnel GTP-U

El establecimiento de un túnel GTP-U consiste básicamente en la elección del identificador TEID asociado a un determinado servicio portador EPS en ambos extremos del túnel. La señalización necesaria para establecer el túnel se realiza mediante otros protocolos como GTP-C o S1-MME. El protocolo GTP-U, y en particular su versión GTPv1-U, se utilizan tanto en LTE como en UMTS y se especifica en TS 29.281.

1.14.2. Interfaces basadas en GTP-C

El protocolo GTP-C soporta un conjunto de funciones que pueden clasificarse en torno a los siguientes aspectos:

- **Gestión de sesiones:** A través de los mensajes y procedimientos de señalización especificados para GTP-C, la red gestiona la creación de túneles GTP-U entre las entidades de la red por donde transcurre el plano de usuario. Dichos túneles forman parte de la propia gestión de sesiones en la red, mediante el establecimiento, mantenimiento/actualización y liberación de conexiones PDN y servicios portadores EPS.
- **Gestión de movilidad.** Mediante el protocolo GTP-C se llevan a cabo algunos de los procedimientos asociados con la gestión de movilidad tales como la transferencia de los contextos de información de los usuarios entre las entidades de red en casos de reubicación de las mismas.

El protocolo GTP-C se utiliza en las interfaces S3, S4, S5/S8, S10, S11 y S16. Nótese que no hay una correspondencia directa entre los interfaces que utilizan GTP-U en el plano de usuario y GTP-C en el plano de control, ya que, tal como se ha comentado, el protocolo GTP-C abarca otras funciones además de la gestión de túneles GTP-U.

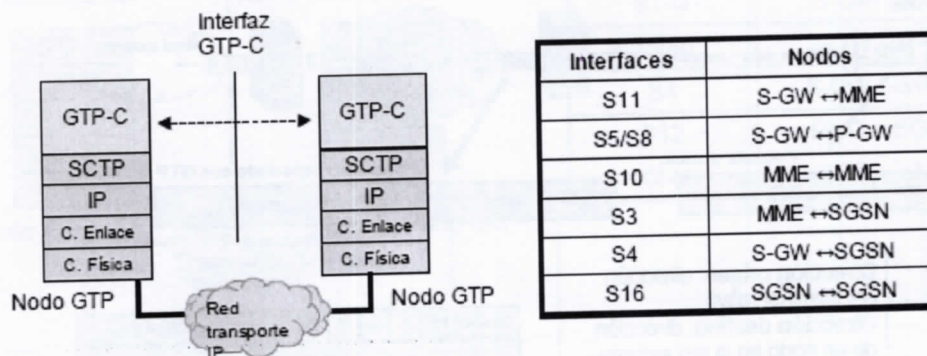


Figura 2.18 Interfaces basadas en GTP-C

Figura No.22 - Interfaces basadas en GTP-C

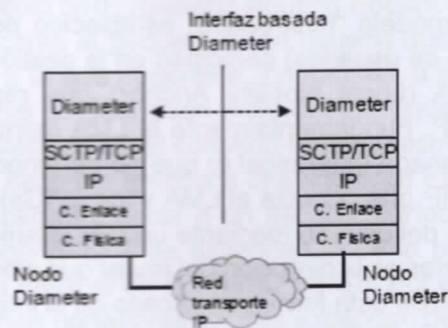
La versión del protocolo GTP-C utilizada en las interfaces de LTE, denominada como GTPv2-C, se especifica en TS 29.274 [21]. En cambio, la versión del protocolo GTP utilizada en interfaces propias del sistema UMTS (e.g., interfaces entre los elementos de la red troncal GPRS) se cubre en el documento TS 29.060. Detalles adicionales de la operativa del protocolo GTP-C se analizan en el Capítulo 3 durante la descripción de los procedimientos de gestión de sesiones y de gestión de movilidad.

1.14.3. Interfaces basadas en Diameter

El protocolo Diameter es una evolución del protocolo RADIUS, inicialmente concebido para sustentar funciones de Autenticación, Autorización y Accounting (AAA). Diameter mejora las prestaciones de su antecesor RADIUS en aspectos tales como seguridad, robustez a pérdidas de mensajes, así como en su extensibilidad que permite el uso del protocolo para aplicaciones fuera del ámbito de AAA.

El protocolo Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces del nuevo sistema LTE. En la Figura 2.23 se ilustra la torre de protocolos sobre la que se sustenta Diameter junto con una tabla donde se indican todas las interfaces del sistema LTE basadas en dicho protocolo.

La transferencia de los mensajes Diameter entre nodos se realiza a través de un protocolo de transporte orientado a conexión como TCP o SCTP.



Interfaces	Nodos
S6a, S6d	HSS ↔ MME, SGSN
SWx, STa, SWa, SWm, S6b, SWd	3GPP AAA Server ↔ HSS, Red no-3GPP segura, Red no-3GPP no segura, ePDG, P-GW, 3GPP AAA Proxy
Gx, Gxa, Gxc, Rx, S9	PCRF ↔ P-GW, S-GW, AF, PCRF
S13, S'13	EIR ↔ MME, SGSN

Figura No.23 – Interfaces basadas en Diameter.

El protocolo Diameter se estructura en torno a un protocolo de base (Diameter base standard definido en RFC 3588 [32]) y un número de extensiones denominadas aplicaciones. El protocolo de base aporta las funcionalidades comunes del protocolo: formatos de los mensajes y elementos de información genéricos (e.g., Attribute Value Pairs, AVPs), mecanismos de transferencia de mensajes, descubrimiento de capacidades de las entidades Diameter, aspectos de seguridad, etc. Las "aplicaciones" definen los mensajes adicionales y los procedimientos necesarios para adaptar el uso de Diameter al soporte de una determinada funcionalidad. Entre las aplicaciones de Diameter más relevantes estandarizadas por IETF se encuentran: Network Access Server Application (aplicación de Diameter para servicios AAA en el marco de control de acceso a redes, definido en la RFC 4005) y Credit Control Application (aplicación de Diameter para la implementación de sistemas de tarificación on-line, como sistemas de pre-pago, definido en la RFC 4006). Además de IETF, otros organismos también pueden llevar a cabo la especificación de nuevas aplicaciones del protocolo, como es el caso de 3GPP. Estas aplicaciones de Diameter se denominan como "vendor-specific" y se les asigna un identificador de aplicación a través de IANA (Internet Assigned Numbers Authority5). Así pues, 3GPP ha definido varias aplicaciones "vendor-specific" para la implementación de diferentes interfaces del sistema mediante extensiones del protocolo Diameter. Cada una de estas aplicaciones de Diameter se recoge en un documento de especificación técnica del 3GPP. A modo de ejemplo, La aplicación de Diameter para la interfaz S6a/S6d se define en 3GPP TS 29.272.

1.14.4. Interfaces basadas en PMIPv6

El protocolo PMIPv6 (Proxy MIPv6) es un protocolo especificado por IETF en la RFC 5213 para gestionar la movilidad a nivel de capa de red IP. El protocolo PMIPv6 ha sido adoptado por 3GPP para su posible utilización en la interfaz S5/S8 entre las pasarelas S-GW y P-GW, como alternativa al uso del protocolo GTP especificado por 3GPP.

Al igual que la alternativa basada en GTP, PMIPv6 resuelve la movilidad de forma transparente al equipo de usuario, es decir, sin necesidad de que éste participe en la

señalización pertinente. Este modelo de gestión de movilidad se conoce como gestión de movilidad "network-based", en contraposición al modelo "host-based" establecido por el protocolo MIP donde los nodos extremos (equipos de usuarios) participan en la gestión de movilidad. El protocolo define una entidad LMA (Local Mobility Anchor) que realiza funciones similares a un Home Agent (HA) en MIP. Fundamentalmente el LMA mantiene una asociación entre la dirección IP que tiene asignada el terminal (y que no pertenece al espacio de direcciones IP de la red de transporte IP que conecta el LMA y los MAGs) y la dirección IP hacia la que debe enviar los paquetes del usuario mediante un mecanismo de encapsulado. La dirección IP de envío de los paquetes es la dirección del router que alberga la funcionalidad de MAG (Mobile Access Gateway). De esta forma, en el caso de la interfaz S5/S8, todos los paquetes IP que llegan a la pasarela P-GW (LMA) desde la red externa y que contienen como dirección destino la dirección IP asignada a un terminal, son encapsulados y enviados mediante un túnel PMIPv6 a la pasarela S-GW correspondiente (MAG), y viceversa. Nótese que la transferencia de los paquetes IP entre las pasarelas S-GW y los equipos de usuario ya no compete a la operativa del protocolo y se aborda mediante los mecanismos soportados a tal efecto en las interfaces S1 y radio (servicios portadores radio y S1).

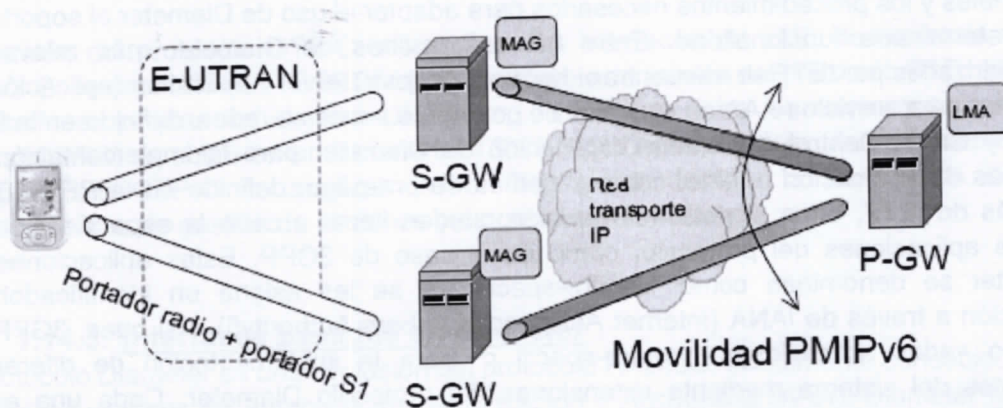


Figura No.24 – Ámbito y componentes del protocolo PMIPv6.

El plano de control consiste en unos mensajes de señalización especificados en el protocolo que se envían en la parte de datos de los paquetes IP intercambiados entre MAGs y LMA. A través de dichos mensajes de señalización se controlan las asociaciones de direcciones y los túneles necesarios.

El plano de usuario del protocolo se basa en el establecimiento de un túnel que permite enviar de forma transparente los paquetes IP de los usuarios (con direcciones origen y destino pertenecientes al espacio de direcciones de la red externa) entre MAGs y LMA (que pueden utilizar un espacio de direcciones diferente a las de la red externa). Para ello, los paquetes IP de usuario se encapsulan dentro de la carga útil de paquetes IP mediante el

protocolo GRE (Generic Routing Encapsulation, RFC 2784). El protocolo GRE añade unas cabeceras al paquete IP de usuario que permiten asociar cada paquete con la conexión PDN a la que pertenece. En cambio, a diferencia de GTP, los túneles GRE utilizados por PMIPv6 no distinguen entre el tráfico que pertenece a diferentes servicios portadores EPS establecidos en el contexto de una misma conexión PDN (i.e., los identificadores de túnel GRE hacen referencia a una conexión PDN mientras que los identificadores de túnel GTP-U hacen referencia a un servicio portador EPS). Esta diferencia hace que los servicios portadores EPS se extiendan entre la pasarela S-GW y el equipo de usuario cuando se utiliza PMIPv6 en la interfaz S5/S8. Por el contrario, mediante el uso de GTP en S5/S8 los servicios portadores EPS se extienden desde la pasarela P-GW hasta el equipo de usuario.

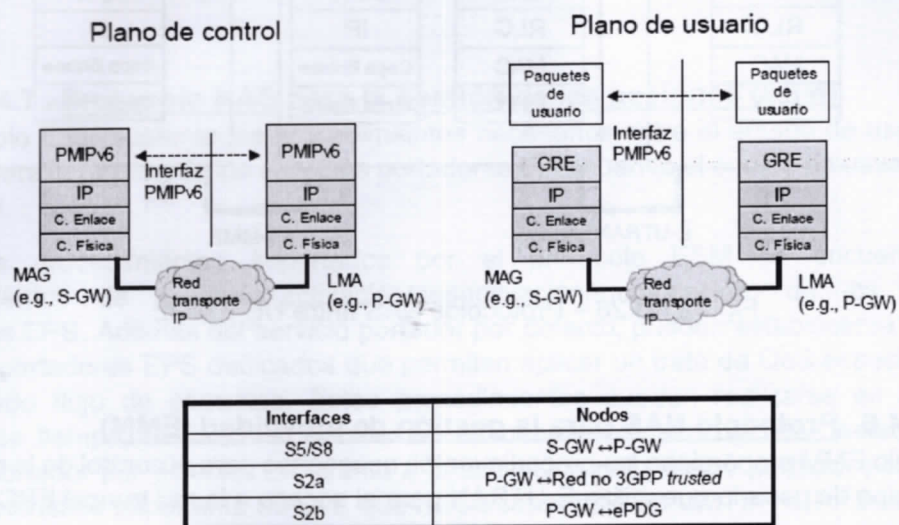


Figura No.25 – Interfaces basadas en PMIPv6

Además de la interfaz S5/S8, el protocolo PMIPv6 es uno de los protocolos especificados para el soporte de movilidad entre LTE y redes no 3GPP. En particular, las interfaces S2a y S2b están basadas en PMIPv6.

1.14.5. Protocolos NAS

Los protocolos NAS son los protocolos desarrollados por el 3GPP para llevar a cabo la gestión de movilidad de los equipos de usuario (EPS Mobility Management, EMM) y la gestión de las sesiones para el establecimiento de la conectividad entre el equipo de usuario y la pasarela P-GW (EPS Session Management, ESM). Los protocolos NAS se soportan entre el equipo de usuario y un nodo MME y se han desarrollado específicamente para E-UTRAN, aunque se mantienen muchas similitudes con los protocolos NAS utilizados en UMTS (por ejemplo: Session Management, SM, y GPRS Mobility Management, GMM, del dominio GPRS). Los protocolos ESM y EMM se especifican en 3GPP TS 24.301.

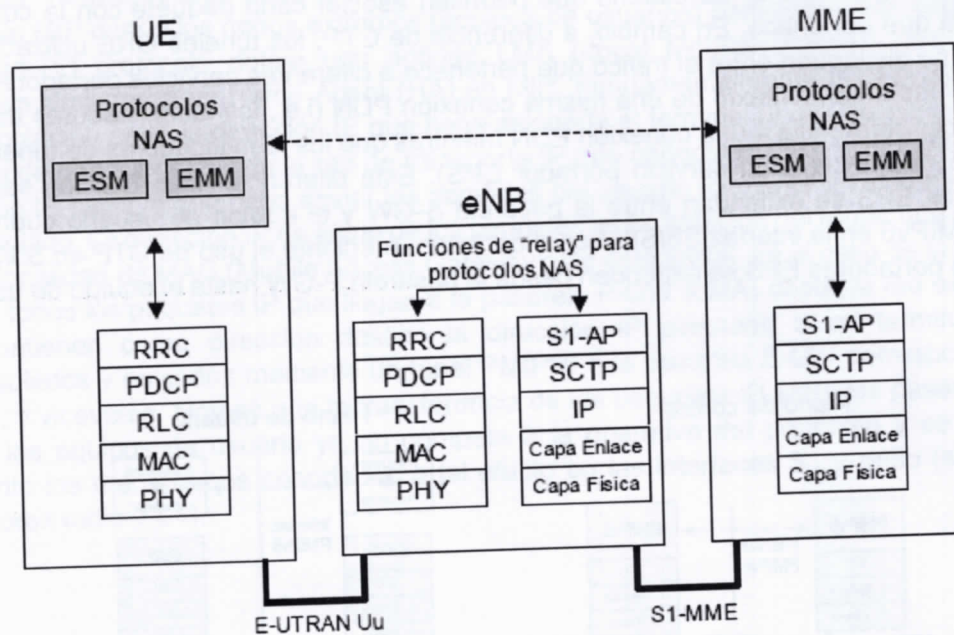


Figura No.26 – Protocolos NAS entre UE y MME

1.14.6. Protocolo NAS para la gestión de movilidad (EMM)

El protocolo EMM proporciona los procedimientos necesarios para el control de la movilidad de un equipo de usuario que utiliza E-UTRAN para el acceso a la red troncal EPC.

En particular, entre los procedimientos soportados por el protocolo EMM se encuentran los mecanismos de "registro" y "cancelación de registro" del usuario en la red LTE (procedimientos denominados como Network Attach y Detach en las especificaciones) y la actualización del área de seguimiento (procedimiento denominado como Tracking Area Update).

Mediante estos procedimientos se gestiona la accesibilidad a los servicios de la red LTE de los usuarios (la realización del registro en la red LTE es necesaria para que el usuario pueda iniciar o ser contactado para proceder a la activación de un servicio).

En el caso de terminales que se encuentren en estado idle, mediante el protocolo EMM se soporta el procedimiento de aviso (paging). En particular, el mensaje de aviso es un mensaje de señalización generado por el protocolo EMM que se distribuye a los terminales mediante las funciones disponibles en la interfaz S1-MME. El procedimiento de aviso lo utiliza la red troncal EPC para forzar el re-establecimiento de la señalización de control con un equipo de usuario que se encuentre en modo idle. Asimismo, el protocolo EMM soporta un procedimiento de petición de servicio (denominado Service Request) por parte del equipo de usuario cuyo propósito es permitir "reactivar" el plano de usuario entre el S-GW y un equipo de usuario que se encuentre en modo idle. La petición del servicio la realiza el equipo de usuario cuando, ejemplo., tiene paquetes IP pendientes de ser transmitidos.

El protocolo EMM también contempla procedimientos que permiten a la red interrogar al equipo terminal para el envío de identificadores tales como el IMSI (International Mobile Subscriber Identity) o el IMEI (International Mobile Equipment Identity) y llevar a cabo la autenticación del usuario (procedimiento denominado como EPS Authentication and Key Agreement, AKA). En particular el procedimiento EPS AKA permite la autenticación mutua entre usuario y red LTE, así como el establecimiento de una clave maestra a partir de la cual se derivan las claves de cifrado e integridad.

Finalmente, también cabe destacar que es posible llevar a cabo el envío de información diversa entre el equipo de usuario y la red troncal EPC mediante un procedimiento de transporte sobre mensajes NAS soportado por el protocolo EMM. A través de dicho procedimiento se puede soportar, por ejemplo, la transferencia de mensajes SMS a través de la red LTE. Los mensajes SMS se envían encapsulados en mensajes NAS EMM.

1.14.7. Protocolo NAS para la gestión de las sesiones (ESM)

El protocolo ESM sustenta los procedimientos necesarios entre el equipo de usuario y la red LTE para la gestión de los servicios portadores EPS cuando el equipo de usuario utiliza E-UTRAN.

Entre los procedimientos soportados por el protocolo ESM se encuentran los procedimientos de gestión (activación/desactivación/modificación) de los servicios portadores EPS. Además del servicio portador por defecto, pueden establecerse múltiples servicios portadores EPS dedicados que permiten aplicar un trato de QoS específico a un determinado flujo de paquetes. Estos procedimientos pueden realizarse en cualquier instante de tiempo, una vez el terminal se encuentra registrado y tiene establecido el servicio portador por defecto. En cuanto a la activación del servicio portador por defecto, una característica importante de LTE que no se contempla en UMTS y GPRS, es que su activación puede realizarse de forma conjunta con el procedimiento de registro, reduciéndose por tanto la señalización necesaria. Durante la activación del servicio portador por defecto, mediante el protocolo ESM se puede llevar a cabo la asignación de la dirección IP al equipo de usuario, aunque es importante señalar que LTE también soporta la asignación de la dirección a través de protocolos IETF en lugar de utilizar la señalización NAS.

El protocolo ESM también contempla un procedimiento que permite que un usuario solicite a la red el establecimiento de la conexión a una red externa. En respuesta a dicha petición, la red LTE puede proceder a activar el servicio portador por defecto con dicha red externa. El protocolo soporta también un mecanismo de petición de asignación de recursos (denominado como UE requested bearer resource allocation procedure). Este mecanismo permite que el equipo de usuario pueda notificar su necesidad de disponer de recursos que le permitan transferir un flujo de datos con unas determinadas características de QoS. Como respuesta a esta petición, la red LTE puede iniciar el establecimiento de un servicio portador EPS dedicado. El establecimiento de servicios portadores se controla siempre desde la red troncal. Por tanto, este mecanismo permite disponer de una alternativa para que el terminal pueda solicitar el inicio de la activación del servicio portador, otorgando más flexibilidad para el soporte de aplicaciones cuya señalización no se controle directamente a través de plataformas de servicios.

1.15. Configuraciones de la red EPC

Las entidades de red en base a las que se describe la arquitectura de los sistemas LTE son entidades funcionales. Así, una entidad de red en 3GPP se concibe como una entidad "lógica" que cubre una funcionalidad perfectamente delimitada. Por tanto, una implementación concreta de la red LTE admite que diferentes entidades funcionales pueden residir en el mismo equipo físico.

Existen cuatro posibles implementaciones de la red troncal EPC en base a la ubicación física de las tres principales entidades de red que la componen: MME, S-GW y P-GW.

1. La primera implementación posible de la red troncal EPC consiste en integrar las tres entidades funcionales en un único equipo de red. Esta opción conduce a que el número de "saltos" o puntos de procesamiento del plano de usuario en la red LTE sea únicamente de dos (eNB y equipo de la red troncal S-GW+P-GW), con la consiguiente mejora en términos de latencia. No obstante, esta configuración no permite dimensionar por separado los recursos necesarios para soportar el plano de control y el de usuario de forma que el número de equipos de red troncal necesarios debe contemplar el peor de los casos. Nótese que, como el dimensionado de los recursos del plano de control depende principalmente del número de usuarios mientras que el dimensionado del plano de usuario está asociado al volumen de tráfico, la proporción entre el número de recursos necesarios para soportar ambos planos puede abarcar un amplio rango de valores atendiendo a la relación y evolución del número de usuarios y del volumen de tráfico que genera cada usuario en la red. De la misma manera, el montante de recursos necesarios para soportar la funcionalidad de punto de anclaje del plano de usuario (i.e., S-GW) y la funcionalidad de pasarela con redes externas (i.e., P-GW) tampoco guarda una relación de proporcionalidad clara. El número de equipos de red que alberguen la funcionalidad de P-GW puede depender en gran medida del número y tipología de las redes externas a las que se debe proporcionarse servicio mientras que el número de equipos S-GW está vinculado más directamente al número de usuarios y distribución geográfica de la red de acceso. Por tanto, implementaciones de equipos que alberguen ambas funciones, tal como sería el caso de la primera opción, limitan claramente la versatilidad y escalabilidad del sistema.
2. Otra implementación consiste en alojar cada entidad de red en un equipo físico diferente. Esta opción permite dimensionar más adecuadamente los recursos necesarios para cada funcionalidad: plano de control, plano de usuario y puntos de anclaje/pasarelas con redes externas. En este caso, el número de "saltos" del plano de usuario en la red es de tres (estación base, S-GW y P-GW).
3. La tercera posible implementación permitiría explotar la separación de plano de control y usuario.
4. La cuarta posible implementación explotaría la separación de las funciones de anclaje y las funciones de interconexión a redes externas.

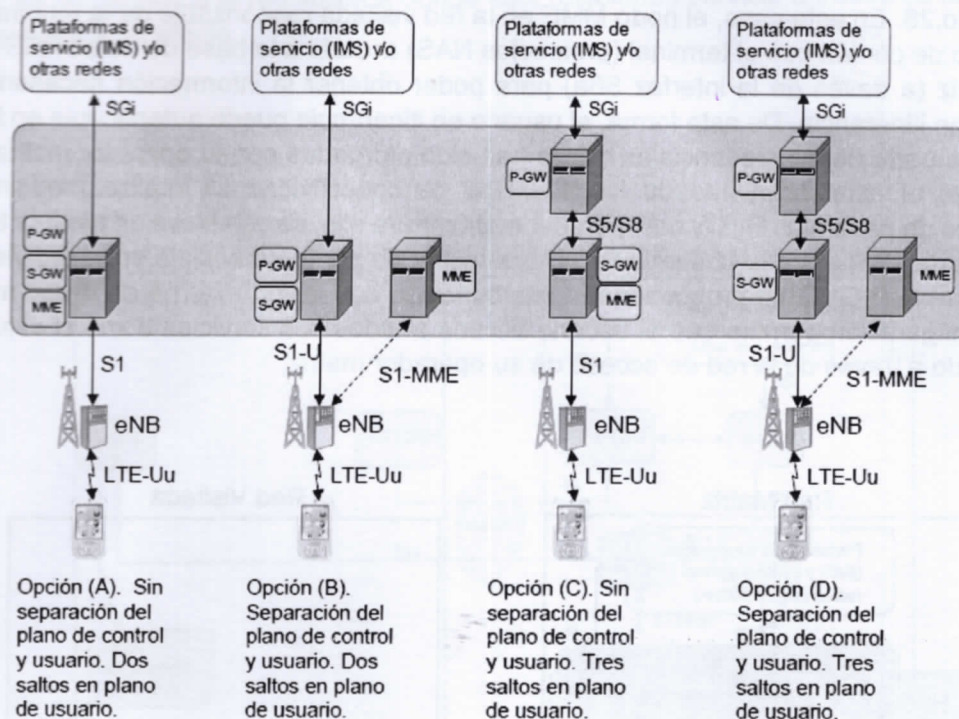


Figura No.27 – Posibles configuraciones de la red EPC

1.16. Soporte de roaming

Una funcionalidad importante de las redes de comunicaciones móviles es el soporte del servicio de itinerancia (roaming). Este servicio permite que los usuarios puedan acceder a sus servicios de telecomunicación a través de las redes de otros operadores con los que no tienen establecida ninguna relación contractual (suscripción). A efectos de nomenclatura, el operador con el que el usuario tiene establecida la relación contractual para la prestación de servicios se conoce como operador matriz, y por extensión, la red de dicho operador constituye la red matriz (Home Network). La red de otro operador a la que el usuario puede tener acceso se denomina red visitada (Visited Network).

El sistema LTE especifica tres posibles configuraciones para la implementación de un servicio de itinerancia. Las diferentes configuraciones dependen de qué pasarela P-GW se utiliza para encaminar el tráfico con la red externa y de la capacidad de proporcionar acceso a los servicios propios del operador matriz. Las tres configuraciones son:

- Encaminamiento de tráfico a través de la red matriz, con acceso a los servicios de la red matriz.
- Encaminamiento de tráfico a través de la red visitada, con acceso a los servicios de la red visitada.

- Encaminamiento de tráfico a través de la red visitada, con acceso a los servicios de la red matriz.

La configuración de la arquitectura de red correspondiente a la opción (I) se ilustra en la Figura No.28. En este caso, el nodo MME en la red visitada responsable de la terminación del plano de control con el terminal (protocolos NAS) accede a la base de datos HSS de la red matriz (a través de la interfaz S6a) para poder obtener la información necesaria del usuario en itinerancia. De esta forma, el usuario en itinerancia puede autenticarse en la red visitada a partir de las credenciales que le han sido otorgadas por su operador matriz. Por otro lado, el establecimiento de los servicios de conectividad se realiza mediante la utilización de pasarelas P-GW del operador matriz. Para ello, se establece un túnel (a través de la interfaz S8) entre la pasarela S-GW que actúa de punto de anclaje en la red visitada y la pasarela P-GW que proporciona la interconexión con la red externa en la red matriz. Esta configuración permite que el usuario acceda a todos sus servicios como si estuviera conectado a través de la red de acceso de su operador matriz.

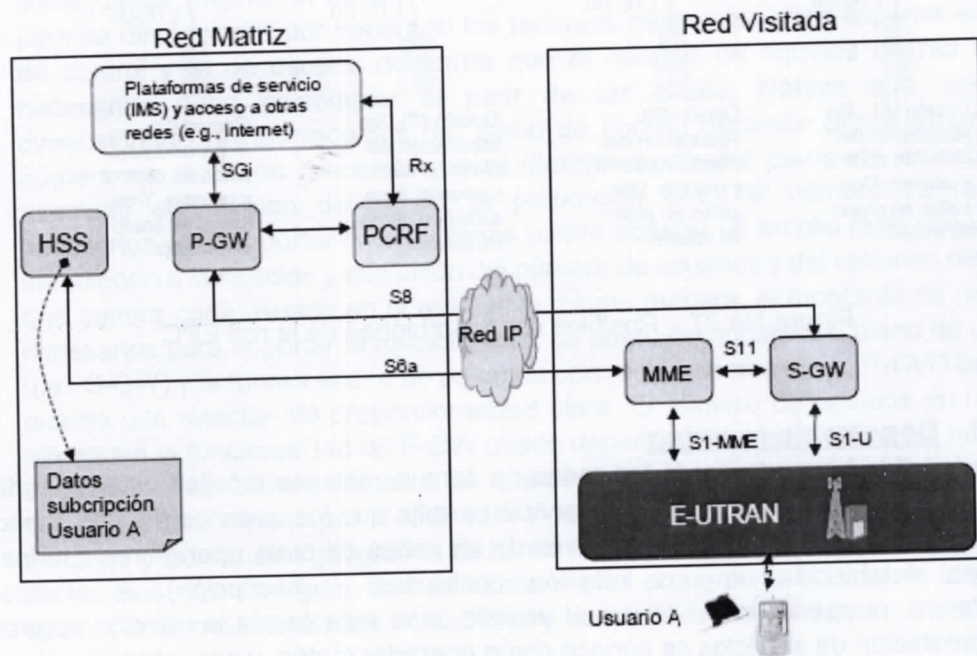


Figura No.28 – Encaminamiento de tráfico a través de la red matriz

La Figura No.29 representa la configuración de la red en el caso de la opción (II). Esta configuración permite que el tráfico generado por los usuarios en itinerancia se curse de forma local en las redes visitadas. Así, el acceso a las redes externas y/o plataformas de servicio se realiza mediante pasarelas P-GW pertenecientes a la red visitada. En cualquier caso, nótese como, al igual que en la opción (I), el nodo MME de la red visitada accede directamente a la base de datos HSS de la red matriz para obtener la información relativa al usuario en itinerancia. Asimismo, el control de las reglas de uso de la red y de tarificación, atendiendo a que cada operador puede establecer sus propias estrategias comerciales,

puede realizarse en base al acceso al sistema PCC de la red matriz. De esta forma, las reglas de uso (ejemplo: parámetros de QoS) que se aplicarían en la red visitada vendrán determinadas por el operador matriz. Las reglas de uso pueden transferirse desde la red matriz de un usuario a la red visitada donde está recibiendo servicio a través de la interfaz S9 diseñada a tal efecto.

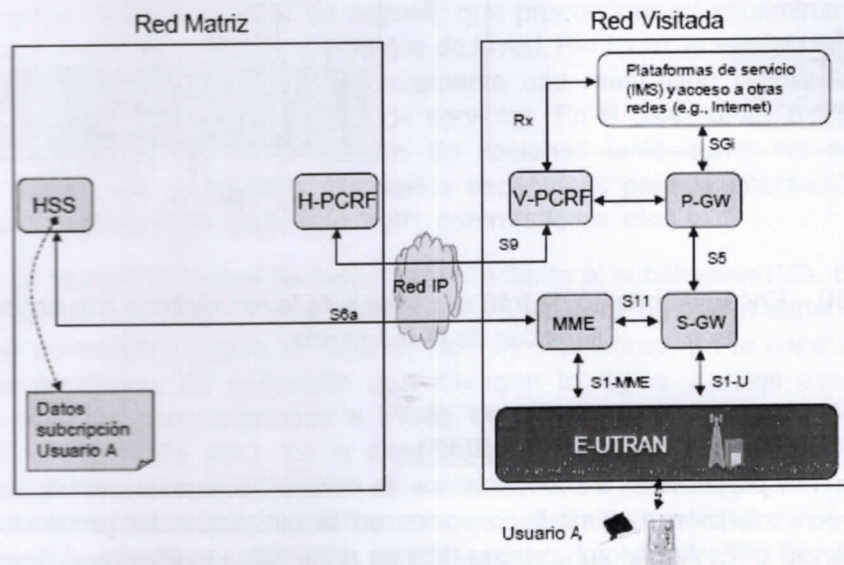


Figura 2.25 Encaminamiento de tráfico a través de la red visitada, con acceso a los servicios de la red visitada

Figura No.29 – Encaminamiento de tráfico a través de la red visitada con acceso a los servicios de la visitada.

Finalmente, la configuración correspondiente a la opción (III) se muestra en la Figura No.30. Esta configuración resulta útil en el caso de que se pretenda que el usuario en itinerancia tenga acceso a las plataformas de servicio de su operador (el control de los servicios se realiza a través del operador matriz) pero quiera evitarse el encaminamiento de todo el tráfico a través de la red matriz. De esta forma, el tráfico de usuario que no necesariamente tenga que atravesar la plataforma de servicios puede acceder a las redes externas (por ejemplo, Internet) sin necesidad de que tenga que ser transferido desde la red visitada a la red matriz.

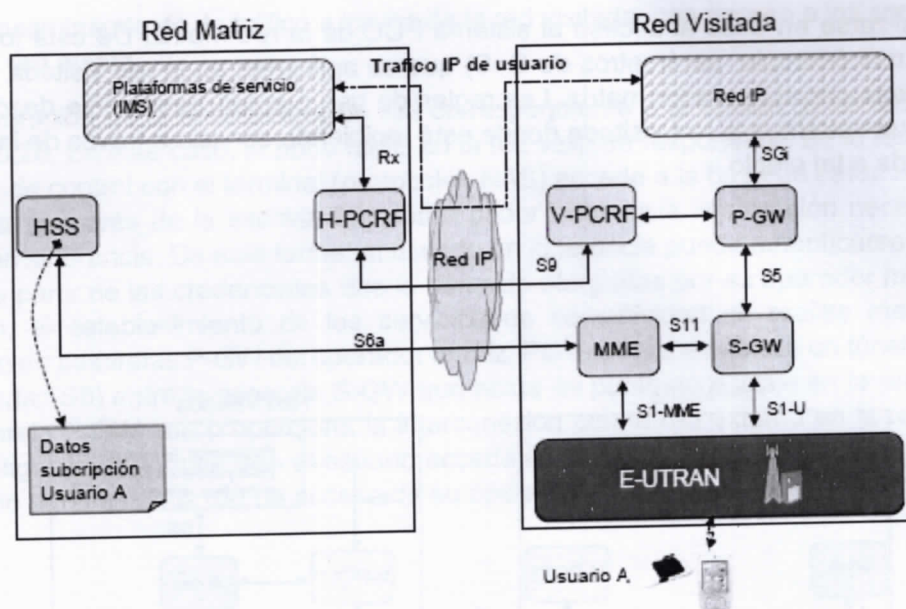


Figura No.30 – Encaminamiento de tráfico a través de la red visitada con acceso a los servicios de la red matriz.

1.17. IP Multimedia Subsystem (IMS)

El subsistema IMS proporciona los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios de comunicación multimedia basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. Así, el subsistema IMS se materializa mediante el despliegue de infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, bases de datos, pasarelas) que se comunican entre sí mediante diversos protocolos, fundamentalmente estándares del IETF, y que permiten gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo, etc. El acceso de los terminales a dicha infraestructura se realiza a través de los servicios de conectividad IP que proporciona la red LTE. La provisión de servicios en redes de comunicaciones móviles a través de IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito, perspectiva avalada por el hecho de que la nueva red de acceso E-UTRAN ya ha sido diseñada de forma que no proporciona acceso al dominio de circuitos.

La adopción de protocolos desarrollados en IETF para la provisión de servicios multimedia en sistemas de comunicaciones móviles permite reducir considerablemente el ciclo de desarrollo de terminales y equipos, dada la relativa madurez tecnológica con que ya cuentan muchos de estos protocolos en otros contextos (ejemplo: Internet, redes de área local, etc.). Además, su adopción facilita en gran medida la interconexión de diferentes redes de telecomunicación ya sean móviles o fijas, públicas o privadas, que también se basan en dichos protocolos. Este enfoque ha ido cobrando fuerza en organizaciones como 3GPP, a diferencia del planteamiento adoptado en el desarrollo normativo de los primeros sistemas como GSM en ETSI, donde los protocolos utilizados se diseñaron específicamente

para GSM. En particular, 3GPP escogió el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) definido en la recomendación RFC3261 de IETF como protocolo de base para soportar la señalización asociada al subsistema IMS.

El subsistema IMS tiene sus orígenes en el conjunto de especificaciones correspondientes a la Release 5 del sistema UMTS. Posteriormente, el ámbito de aplicación del IMS se ha extendido a otras tecnologías de red, tanto móviles (LTE, redes 3GPP2, Mobile WiMAX, etc.), como fijas (ADSL, cable, etc.).

El modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación. La capa de transporte representa la infraestructura de red IP, dependiente de la tecnología de acceso, que proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red. Por tanto, el servicio de conectividad IP que ofrece la red LTE constituye claramente una realización válida de la capa de transporte en este modelo de provisión de servicios. En la capa de control se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones tales como los servidores de señalización SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).

Esta capa de control es la que se materializa mediante el subsistema IMS. Es importante destacar que los servicios de conectividad IP proporcionados por la capa de transporte pueden ser controlados desde la capa de control. Por último, en la capa de aplicación residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS (ejemplo: servicio de mensajería instantánea y presencia, etc.). En la capa de aplicación también se pueden encontrar elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes y pasarelas Parlay/OSA. A través de estas plataformas se posibilita la provisión de servicios desde proveedores de aplicaciones externos, denominados como Application Service Providers, ASPs.

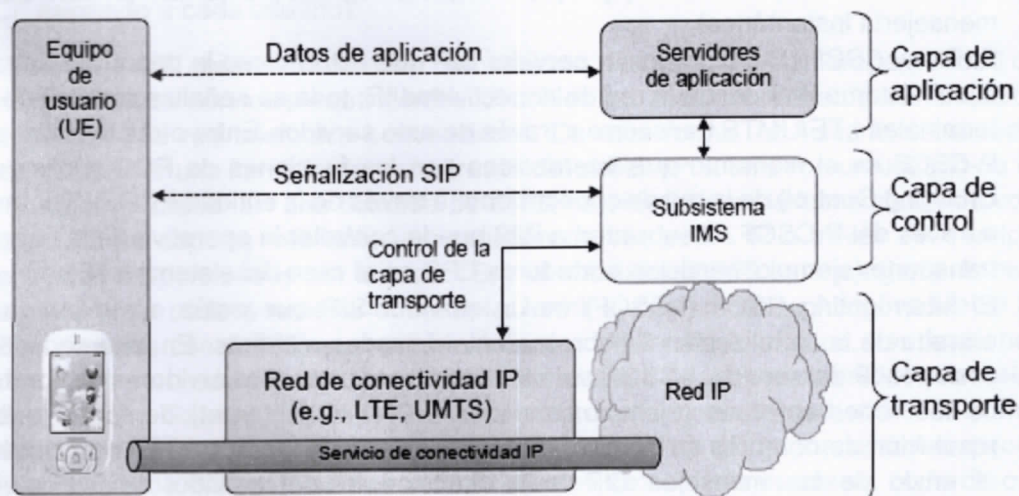


Figura No.31 – Modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS.

El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementado con una serie de extensiones definidas por el 3GPP. Nótese que un terminal conectado a través de, por ejemplo, LTE, utiliza SIP para su interacción con IMS. SIP es un protocolo que se concibió en un principio para controlar el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (telefonía, videoconferencia, etc.) sobre redes IP entre dos o más participantes. Gracias a su flexibilidad, actualmente el ámbito de aplicación de SIP abarca una gama de aplicaciones mucho más extensa: mensajería instantánea y presencia, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, etc. Se trata pues de un protocolo en auge, ampliamente respaldado por organismos de normalización y por la industria, y en continua evolución. Además de SIP, en el IMS se emplean otros protocolos de señalización, tales como Diameter y MEGACO/H.248, para escenarios de comunicación en los que intervienen pasarelas de medios (por ejemplo, pasarelas VoIP para interconectar redes IP con redes telefónicas convencionales).

La especificación de la arquitectura funcional del subsistema IMS se aborda en el documento 3GPP 23.228. Los principales elementos que forman parte del subsistema IMS, sin pretender alcanzar el mismo nivel de detalle seguido en la descripción de E-UTRAN y EPC.

En la Figura No.32 se ilustra una arquitectura simplificada de los principales componentes funcionales que integran el subsistema IMS. El núcleo del subsistema IMS lo forman las entidades denominadas CSCF (Call Session Control Function). Básicamente, se trata de servidores SIP que proporcionan las siguientes funciones:

- El Serving CSCF (S-CSCF) actúa como el nodo central de la señalización en sesiones IMS. El S-CSCF actúa como servidor de registro SIP (SIP Registrar) de forma que, cualquier mensaje de señalización SIP dirigido al usuario mediante la dirección SIP correspondiente, siempre termina pasando por el S-CSCF donde el usuario se encuentra registrado. S-CSCF puede proporcionar por si solo algunos servicios al usuario (ejemplo: servicio de redireccionamiento de llamadas, listas de marcado, etc.) o bien encaminar la señalización SIP hacia los servidores de aplicación correspondientes (ejemplo: servidores que implementan un servicio de mensajería instantánea).
- El Proxy CSCF (P-CSCF) es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada al subsistema IMS desde la red de conectividad IP: toda su señalización SIP de los terminales LTE/UMTS transcurre a través de este servidor. Entre otras funciones, el P-CSCF es el elemento que interacciona con las funciones de PCC (Policy and Charging Control) de la red de conectividad (a través de la entidad PCRF). Por tanto, a través del P-CSCF, el subsistema IMS puede controlar la operativa de la capa de transporte (ejemplo: servicios portadores EPS en el caso del sistema LTE).
- El Interrogating CSCF (I-CSCF) es un servidor SIP que actúa como puerta de entrada de la señalización SIP proveniente de redes externas. En este sentido, la dirección IP del servidor I-CSCF es la que está incluida en los servidores de nombres de las redes externas (ejemplo: servidores DNS de Internet) de forma que la resolución de nombres de dominio (ejemplo: usuario@operadorLTE.com) conduce al envío de los mensajes SIP a la dirección IP del servidor I-CSCF quien, posteriormente, re-dirige los mensajes a los servidores S-CSCF correspondientes.

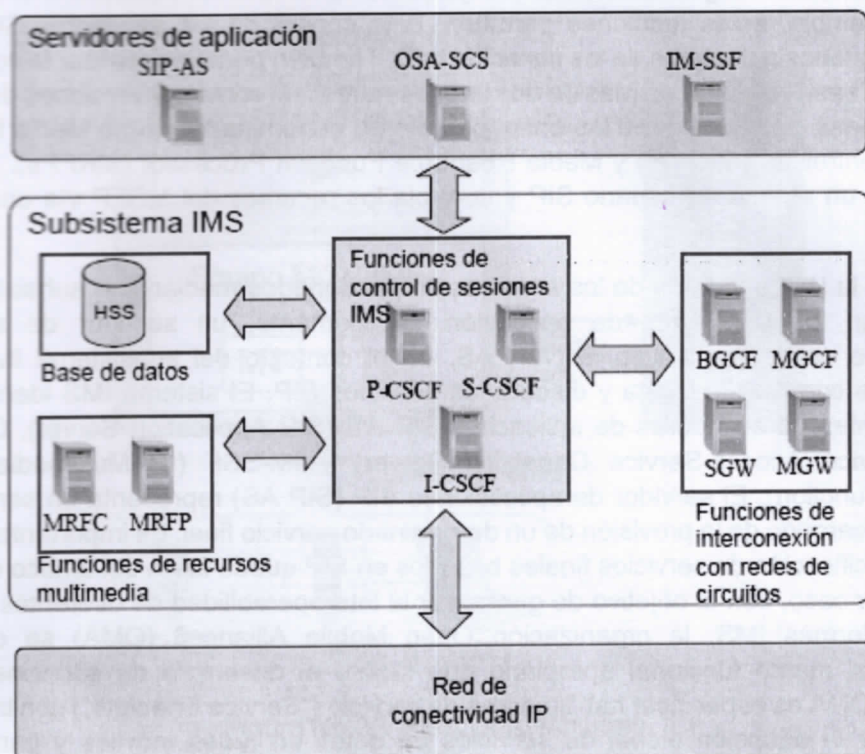


Figura No.32 – Arquitectura simplificada del subsistema IMS.

Los servidores CSCF tienen acceso a la base de datos HSS. En dicha base de datos, junto con la información necesaria para acceder a las redes 3GPP también se almacena información necesaria para soportar sesiones multimedia sobre IMS (ejemplo: servidor S-CSCF asignado a cada usuario).

El subsistema IMS contempla también mecanismos que permiten la interoperabilidad de los servicios IMS con servicios equivalentes ofrecidos a través de redes de conmutación de circuitos como la red telefónica convencional. De esta forma, un usuario de la red LTE puede establecer una llamada de voz a través del subsistema IMS con un usuario de la red telefónica conmutada. En una llamada de estas características, la transmisión de voz del usuario LTE se soporta mediante una solución de voz sobre IP a través del servicio de conectividad proporcionado por la red LTE, y el subsistema IMS se encargaría de realizar la conversión de códecs necesaria (ejemplo: terminal con un códec Adaptive Media Rate, AMR, y circuitos con G.711) y el establecimiento del circuito telefónico. Las funciones de interconexión con redes de circuitos se realizan a través de las denominadas pasarelas de medios (Media Gateway, MGW) que proporcionan la conectividad entre el plano de transporte de la red de paquetes (conexiones voz sobre IP) y los circuitos (ejemplo: canalizaciones de 64kbps). La pasarela de medios se controla desde un nodo de control (Media Gateway Controller Function, MGCF) a través del protocolo H.248. El controlador de la pasarela de medios es donde se realiza la conversión de la señalización SIP a la señalización utilizada en la red telefónica (ejemplo: ISDN Signalling User Part, ISUP).

El subsistema IMS integra también un conjunto de funciones de recursos multimedia. A modo de ejemplo, estas funciones permiten, bajo control de los servidores SIP, poner locuciones o tonos a usuarios de los servicios IMS. También permiten realizar la agregación de tráfico en sesiones SIP con más de dos interlocutores, así como conversiones de códecs. Estas funciones se soportan en las entidades de red denominadas como Media Resource Function Controllers (MRFCs) y Media Resource Function Processor (MRFPs). El MRFC actúa como un agente de usuario SIP y controla los recursos del MRFP vía una interfaz H.248.

Finalmente, la lógica y datos de los servicios proporcionados mediante el subsistema IMS se ubica en los servidores de aplicación. Básicamente, un servidor de aplicación (denominado como Application Server, AS, en el contexto del subsistema IMS) es el servidor que contiene la lógica y ejecuta los servicios SIP. El sistema IMS identifica tres tipos diferentes de servidores de aplicación: SIP AS (SIP Application Server), OSA-SCS (Open Service Access-Service Capability Server) y IM-SSF (IP Multimedia Service Switching Function). El servidor de aplicaciones SIP (SIP AS) representa un servidor SIP genérico encargado de la provisión de un determinado servicio final. Es importante destacar que la especificación de servicios finales basados en SIP queda fuera del ámbito de 3GPP. En cualquier caso, con el objetivo de garantizar la interoperabilidad de diferentes servicios entre plataformas IMS, la organización Open Mobile Alliance6 (OMA) se ocupa de establecer el marco funcional apropiado que facilite el desarrollo de servicios IMS. El objetivo de OMA es especificar habilitadores de servicio ("Service Enablers") con la finalidad de fomentar la adopción global de servicios de datos en redes móviles y garantizar la interoperabilidad de servicios de datos en redes móviles entre dispositivos, ubicaciones, proveedores de servicio, operadores móviles y redes. A modo de ejemplo, OMA especifica la arquitectura funcional de servicios tales como Mensajería Instantánea y Presencia, Push to Talk Over Cellular (PoC), y servicios Push sobre IMS.

Mediante el servidor de aplicaciones OSA-SCS, el subsistema IMS también ofrece la posibilidad de interaccionar con el entorno de provisión de servicios OSA/Parlay. Así mismo, a través del servidor IM-SSF el subsistema IMS también permite que los servicios IMS puedan interaccionar con los mecanismos de red inteligente que soportan las redes 3GPP (servicios CAMEL, Customised Applications for Mobile network Enhanced Logic.).

1.18. Equipos de usuario

El equipo de usuario es el equipo que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario en el sistema LTE es la misma que en su momento se definió para los sistemas GSM y que se adaptó posteriormente para UMTS. El equipo de usuario (User Equipment, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de subscripción del usuario (SIM/USIM) y el equipo móvil propiamente dicho (Mobile Equipment, ME). Adicionalmente, las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales: la terminación móvil (Mobile Terminal, MT) y el equipo terminal (Terminal Equipment, TE). A continuación se describen cada uno de ellos.

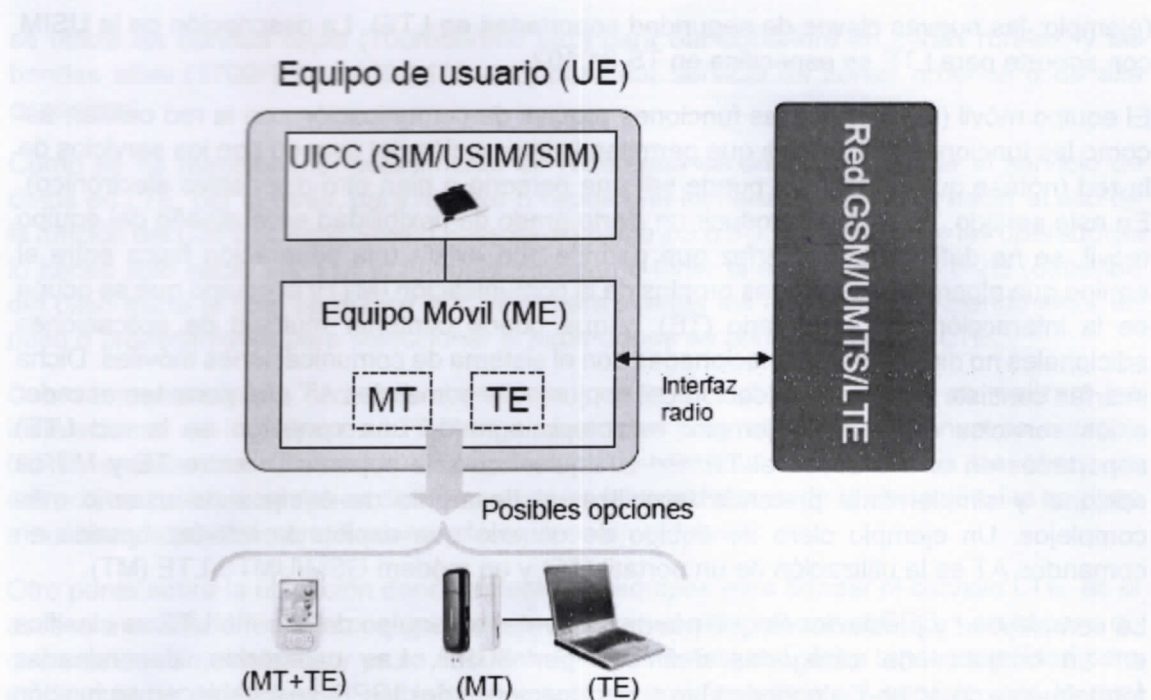


Figura No.33 – Equipo de usuario.

El módulo de subscripción de usuario se materializa mediante el uso de una tarjeta inteligente (UICC) que contiene la aplicación que gestiona los datos de subscripción de los usuarios a las redes 3GPP. La aplicación utilizada para acceder a redes GSM se denomina SIM (Subscriber Identity Module), mientras que para el acceso a redes UMTS se conoce como UMTS SIM (USIM). Además de las aplicaciones SIM y USIM, la tarjeta UICC puede contener también una aplicación denominada ISIM (IP Multimedia Services Identity Module) para almacenar los datos necesarios para la operación de los servicios IMS (ejemplo: direcciones SIP del usuario). La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica en el sistema independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre USIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal manteniendo su identidad.

Muchas veces los términos tarjeta inteligente, SIM y USIM se utilizan de forma equivalente. Estrictamente, la tarjeta inteligente únicamente se refiere al circuito integrado y sus capacidades de comunicación y procesamiento (elementos hardware/software). Como entorno de procesamiento que es, una tarjeta inteligente puede ejecutar diferentes aplicaciones, y dos de ellas son la SIM y USIM. Dichas aplicaciones contienen una estructura de datos (ejemplo: IMSI del usuario, áreas de seguimiento, etc.) y un conjunto de rutinas específicas (ejemplo: soporte del mecanismo de autenticación). El diseño de estas aplicaciones se realiza de forma que se garantice compatibilidad con los sistemas previos. Así, una tarjeta con una aplicación USIM, o tarjeta USIM, puede ser utilizada para acceder a una red GSM. En el caso del sistema LTE, se ha mantenido la misma compatibilidad, y además, la aplicación correspondiente sigue denominándose USIM. No obstante, la USIM utilizada para acceder a un sistema LTE, extiende la aplicación USIM de UMTS mediante la inclusión de los parámetros adicionales necesarios para gestionar el acceso a través de LTE.

(ejemplo: las nuevas claves de seguridad soportadas en LTE). La descripción de la USIM con soporte para LTE se especifica en TS 31.102.

El equipo móvil (ME) integra las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios de la red (nótese que un usuario puede ser una persona o bien otro dispositivo electrónico). En este sentido, de cara a introducir un cierto grado de flexibilidad en el diseño del equipo móvil, se ha definido una interfaz que permite que exista una separación física entre el equipo que alberga las funciones propias de la comunicación (MT) y el equipo que se ocupa de la interacción con el usuario (TE), y que puede contener multitud de aplicaciones adicionales no directamente relacionadas con el sistema de comunicaciones móviles. Dicha interfaz consiste en la especificación del conjunto de comandos AT que permiten acceder a los servicios de la red (ejemplo: establecimiento de una conexión en la red LTE) soportados en el MT desde el TE. En cualquier caso, la separación entre TE y MT es opcional y simplemente pretende flexibilizar el desarrollo de equipos de usuario más complejos. Un ejemplo claro de equipo de usuario que explota la interfaz basada en comandos AT es la utilización de un portátil (TE) y un módem GSM/UMTS/LTE (MT).

La complejidad y prestaciones que puede presentar un equipo de usuario LTE se clasifica en un conjunto de categorías definidas por 3GPP. Las categorías, denominadas formalmente como ue-Category en las especificaciones del 3GPP, se establecen en función de la capacidad de transmisión del terminal. Así, las categorías tienen en cuenta el grado de soporte de los terminales LTE de mecanismos de multiplexación espacial con múltiples antenas, el uso de determinadas modulaciones, el tamaño en bytes de las colas de transmisión, etc. En particular, en la primera versión del sistema LTE (Release 8) se han definido 5 categorías de terminal cuyas características se describen en el Capítulo 5. Además de la categoría del terminal en términos de capacidad de transmisión, un equipo de usuario también admite diferentes implementaciones en base, por ejemplo, a las bandas de frecuencias soportadas y a la integración en el propio terminal de otras tecnologías de acceso radio (ejemplo: terminales multimodo 3GPP/802.11). La especificación detallada de las diferentes capacidades que pueden contemplarse en los terminales LTE se proporciona en 3GPP TS 36.306.

Capítulo 2

Parámetros de instalación y montaje de equipos para un eNodeB en FDD

En este capítulo se habla acerca de los equipos que son instalados en un eNodeB, sus parámetros de instalación y montaje, también se describe la función y breve reseña de los componentes de los equipos necesarios para la puesta en servicio de un eNodeB.

2.1. Parámetros a considerar al momento de escoger la ubicación de un eNodeB

Los equipos que se instalan para brindar un servicio de telecomunicaciones, ya sea 3G o 4G, se toman desde la selección de la banda en la cual se brindará el servicio. En general

se utiliza las bandas bajas (700/850/900 etc.) para dar cobertura en zonas rurales, y las bandas altas (1700/1800/1900/2100 etc.) para dar servicio en zonas urbanas o de alta capacidad.

Como se ha mencionado, actualmente en Nicaragua se brinda solamente el servicio de datos en LTE, por lo tanto, para realizar o recibir una llamada, se necesita hacer el uso de la función del CSFB (Circuit Switch Falls Back) hacia 2G o 3G, generalmente las operadoras lo hacen solo hacia 3G. Por lo tanto, es necesario tener el servicio de 3G o 2G (depende del caso hacia el cual se realice el CSFB) para instalar los equipos LTE. Siendo esto, un paso o procedimiento para seleccionar el lugar donde se brindará servicio LTE.

Como tercer punto, es necesario mencionar, que la estructura en la cual se realizará las instalaciones de los equipos LTE, tenga capacidad para soportar estos nuevos equipos (RRU, antenas, entre otros) en caso de usar estructuras existentes, En los casos de estructuras nuevas, se deben diseñar en base a las condiciones de la ubicación, los equipos a instalar y a posibles ampliaciones de equipos en el futuro.

Otro punto sobre la ubicación donde estarán los equipos para brindar el servicio LTE, es el acceso a una red IP, por la cual pueda comunicarse el eNodeB con el EPC, y en el caso de que sea un sitio existente, y ya se encuentre acceso a esta red, debe tener capacidad para estos nuevos equipos. Sin esto, los equipos no podrán brindar el servicio, por lo cual también se vuelve un punto crítico para la selección de la ubicación.

También se debe contar con capacidad o realizar instalación de los sistemas de energía que alimentaran los equipos a instalar.

2.2. Equipos a instalar

2.2.1. Base Band Unit (BBU)

La unidad de banda base (BBU) es una unidad que procesa banda base en sistemas de telecomunicaciones. Una estación típica de telecomunicaciones inalámbricas consiste en la unidad de procesamiento de banda base y la unidad de procesamiento de RF (unidad de radio remota – RRU: Remote Radio Unit). La unidad de banda base se coloca en la sala de equipos o gabinete y se conecta con RRU a través de fibra óptica. La BBU es responsable de la comunicación a través de la interfaz física. Un BBU tiene las siguientes características: diseño modular, tamaño pequeño, bajo consumo de energía y se puede desplegar fácilmente.

Un BBU en un sitio de célula de teléfono celular está compuesto por un procesador de señal digital para procesar señales de voz hacia adelante para su transmisión a una unidad móvil y para procesar señales de voz inversa recibidas desde la unidad móvil. El procesador de señales digitales también sirve para producir un primer tono de audio de supervisión (SAT) para la transmisión a la unidad móvil generando sucesivas muestras SAT digitales que se decodifican en un tono continuo. Finalmente, el procesador de señal digital detecta la presencia de un segundo SAT generado por la unidad móvil mediante muestreo y procesamiento de muestras sucesivas del segundo SAT y midiendo la potencia.

BIBLIOTECA CENTRAL UNAN
Repositorio Universitario Xuben Dantón

2.2.1.1. Requerimientos de instalación de la BBU

La BBU en conjunto con la PDU puede ser instalada en diferentes escenarios, pero los siguientes requerimientos deben ser alcanzados:

- a) Será instalado en un bastidor interior o exterior de 19" o en dependencia del bastidor del fabricante.
- b) El bastidor debe ser instalado de acuerdo a los requerimientos del diseño del mismo.
- c) Asegure que la puerta del gabinete puede ser abierta en un ángulo de 120 grados.
- d) La posición de instalación de la BBU debe ser conforme al plano que se diseñó para el sitio.
- e) La toma de aire de la BBU y la salida del ventilador no debe estar bloqueada.
- f) La BBU debe ser instalada y fijada apropiadamente con 4 tornillos.
- g) La superficie del equipo debe estar limpio sin daños ni rayones.
- h) El lado del frente del gabinete debe ser instalado con banda de muñeca antiestática.
- i) BBU y la PDU deben estar conectados a tierra a la terminal de puesta a tierra del gabinete o rack de instalación de 19 pulgadas con cables cruzados de 6 mm ~ 2 amarillo-verde.

2.2.2. Unidad de Radio Remota (Radio Remote Unit o RRU)

12.1.2.1 Concepto de RRU:

Una unidad de radio remota (RRU) en un sistema de estación de base de radio puede incluir un módulo de prefijo cíclico (CP) con un sumador de CP para procesamiento de canal de enlace descendente y un separador de CP para procesamiento de canal de enlace ascendente. La RRU puede configurarse para comunicarse con una unidad de banda base (BBU) a través de un enlace de comunicación físico y puede comunicarse con un dispositivo móvil inalámbrico a través de una interfaz aérea.

Las unidades remotas de radio se instalan generalmente en torres y son controladas por un regulador colocado dentro de un abrigo cerrado en el suelo cerca de la torre. La conexión entre la RRU y el controlador es generalmente óptica. El RRU y el controlador forman la BTS o Base Transceiver Station que es ampliamente utilizado en la comunicación celular.

2.2.2.1. Instalación de la RRU:

La RRU es instalada cerca de la antena y los siguientes requerimientos deben ser cumplidos:

- a) La posición de la instalación debe ser como el plano de diseño del sitio.
- b) La RRU puede ser instalada en cualquier posición vertical detrás de la antena o el polo de la antena.
- c) La RRU se puede instalar en cualquier lugar que esté verticalmente 0.4m debajo de la parte inferior de la antena.
- d) Para el RRU con una ventana de mantenimiento, después de que los cables estén conectados dentro de la ventana, la cubierta de la ventana debe ser sellada y fijada con tornillos.

- e) La RRU debe ser instalada firme y verticalmente, también debe ser instalada y reparada apropiadamente.
- f) La RRU no se puede instalar en el área dentro de la cobertura del lóbulo principal de la antena. De lo contrario, el diagrama direccional de la antena se verá afectado, causando interferencia o reducción en el rango de cobertura de la antena.
- g) La RRU puede ser instalada en un polo redondo de 120mm, un polo con canal de acero de 100mm o un polo de ángulo de acero de 100mm.
- h) El grosor del polo donde se instala la RRU es de 4mm.

2.2.3. Antenas

Por definición, podemos decir que una antena es un dispositivo diseñado para transmitir o recibir energía electromagnética, igualando estas fuentes de energía y el espacio. A menudo llamados también sistemas radiantes.

Los parámetros de selección de ubicación de un sitio mencionados anteriormente (banda en la cual se brindará servicio, zona, estructura, etc.) sientan la base para llevar a cabo la instalación de la antena, la selección del tipo de antena y la altura en que se colocará dicho equipo. Para este equipo, se debe seleccionar el que se acople a las necesidades del operador y servicio a brindar.

La antena que usa para esto, es una Amphenol BXA-185060-8CF-EDIN-X-T06-1900, esta es una antena sectorial (direccional) de tipo panel, polarizada verticalmente de una sola banda, con una ganancia de hasta 17dBi, y sus dimensiones son: 1225mm de largo, 154mm de ancho y 105mm de profundidad.



Figura No.34 – Imagen ilustrativa de la antena Amphenol BXA-185060 Patrón de radiación:

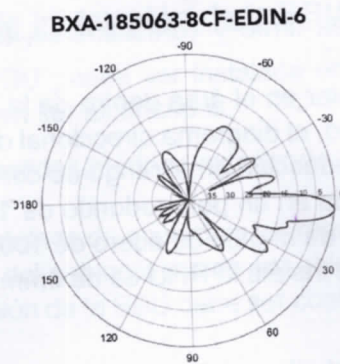


Figura No.35 – Patrón de radiación vertical de la antenna BXA-185063-8CF-EDIN-6

A continuación, mencionaremos los requerimientos que se deben tomar en cuenta la hora de llevar a cabo la instalación de la antenna.

2.2.3.1. Requerimientos de la instalación de la antenna:

1. La localización de la antenna debe ser de acuerdo a los planos de diseño del sitio.
2. El Azimuth, altura, inclinación mecánica, inclinación eléctrica de la antenna deben ser de acuerdo al plan RF.
3. El Bracket de la antenna debe ser instalado firmemente.
4. El polo de la antenna debe estar vertical a la tierra con desviación de $\pm 2^\circ$.
5. Los soportes de los polos de la antenna deben estar firmemente conectadas a la torre.
6. El Bracket de la antenna debe estar aterrizado y protegido dentro de un rango de protección de 45 grados del pararrayos.

2.2.3.2. Requerimientos de instalación de los Brackets de antenna, montaje de polos y la antenna:

1. Pre instalación:
 - a) Instale los brackets en la parte trasera de la antenna y después apriete los tornillos con una llave.
 - b) Conecte un extremo de un puente RF de $\frac{1}{2}$ pulgada al conector en la parte inferior de la antenna y apriete la conexión.
2. Instalación de la antenna:
 - a) Levante la antenna a la posición deseada mediante una polea y una cuerda. Asegúrese de que la antenna dentro de la protección del pararrayos.
3. El personal de instalación bajo la torre debe utilizar una brújula en una posición de 20m lejos de la torre para encontrar el azimuth de la antenna, y luego señalar la dirección a la que debe ajustarse la antenna. El personal de instalación de la torre girará la antenna horizontalmente de acuerdo con la indicación hasta que el azimuth

de la antena cumpla con los requisitos del dibujo del diseño de ingeniería. A continuación, apriete todos los tornillos.

4. Ajuste de inclinación hacia abajo:

a) Gire el dial del medidor de inclinación hacia abajo en el ángulo deseado.

b) Empujar la antena cerca del chasis del dial y moverlos juntos hasta que la burbuja de aire esté situada en el centro de los dos anillos.

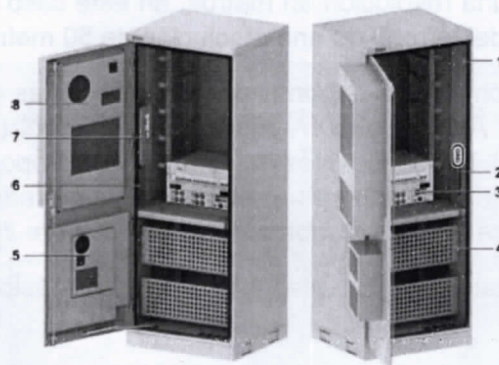
c) Apriete todos los tornillos a los brackets usando una llave.

2.2.4. Power Distribution unit

La PDU o Unidad de distribución de poder es un dispositivo diseñado con múltiples salidas para distribuir electricidad especialmente a racks de computadoras y equipos de redes para centros de datos, así como para la telefonía celular, debido a los múltiples retos en materia de protección y manejo de soluciones eléctricas se tiene la necesidad de contar con esta unidad para monitorear, mejorar la eficiencia, tiempo de actividad y crecimiento de la red.

La PDU consta de dos subsistemas internos (Entrada de Corriente alterna, Power Supply system) siendo el Power Supply System el más importante de los dos debido a que en este equipo se encuentran localizados las entradas de las terminales eléctricas provenientes del servicio comercial (Corriente Alterna), el sistema de protección (Breakers de 20A), convertidor DC, salidas DC hacia la RRU y BBU, así como el sistema de baterías en casos de corte del suministro eléctrico, también el sistema de aire acondicionado para la ventilación de la unidad. En la figura No.34 se puede observar un ejemplo de como se ve una PDU y sus partes.

Dimensiones 2100 mm×800 mm×700 mm (H × W × D)



1. Sensor de la puerta 2. Barra bus GND 3. Chassis fuente de poder
4. Batería del Rack 5. Aire acondicionado DC
6. Barra bus PE 7. Unidad de distribución AC 8. Aire acondicionado combo

Figura No.36 - Infraestructura interna de una PDU.

Capítulo 3

Simulación y drive test de la puesta en servicio de una red LTE

Este capítulo aborda la simulación y el drive test de la puesta en servicio de un eNodeB, incluye la colocación de los parámetros y los cálculos a utilizar en dicha simulación, también refleja los resultados de cobertura y calidad de servicio obtenidos en la prueba llevada a cabo en el software.

3. Software de planificación

3.1. Atoll Software

Atoll es una plataforma de diseño y optimización de redes móviles multitecnología compatible con la mayoría de operadores móviles del mundo, y útil en todas las etapas de planeación de la red, desde el diseño inicial hasta la densificación y la optimización de esta.

Atoll incluye una red de radio acceso (RAN) sencilla de múltiples capacidades de diseño para redes 3GPP (GSM/UMTS/LTE) y 3GPP2 (CDMA/LTE). Esta característica se refiere a la posibilidad de simular una red con las tres tecnologías incluidas (GSM/UMTS/LTE) para tener un resultado más acertado de la red existente, y de esta forma obtener un mejor resultado con la optimización recomendado por el software.

3.2. Requerimientos para la simulación

Lo más importante para poder realizar la simulación de propagación en Atoll Software, es obtener los Clutter Class y los modelos de terreno digital de Nicaragua, que sirven para obtener las posibles alturas, obstáculos y cualquier otro relieve que pueda existir, y estos archivos generalmente traen una resolución en metros, en este caso se trabajó con unos Clutter Class y modelo digital del terreno de una resolución de 50 metros.

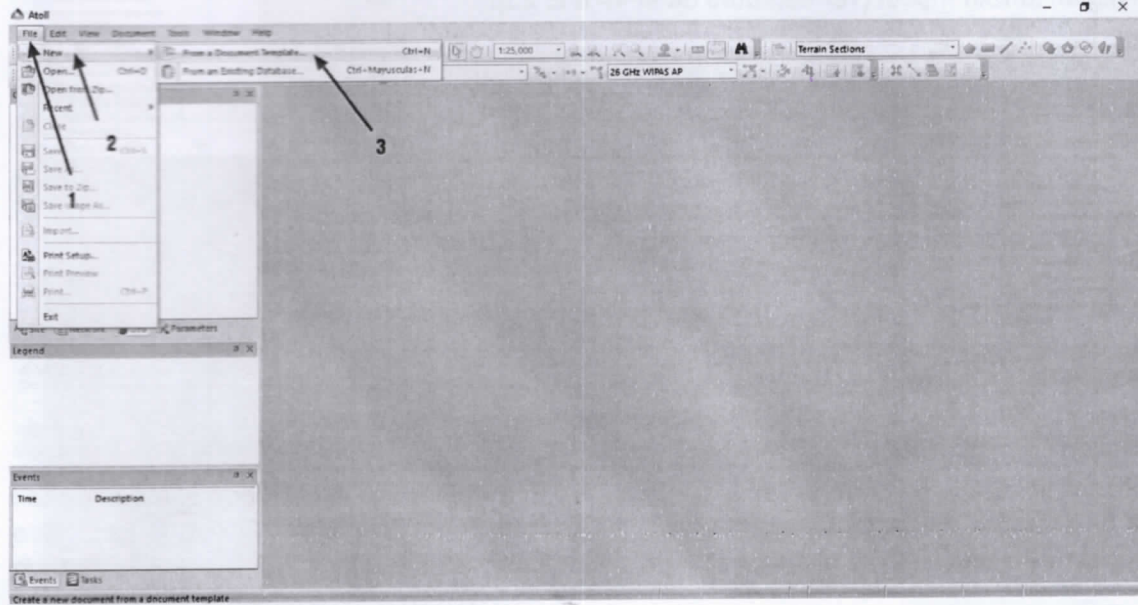
Otro requisito para la simulación son los patrones de radiación de las antenas a utilizar, en este caso se usaron antenas Amphenol BXA-185063-8CF-EDIN-X (ver datasheet en el disco en la carpeta de anexos). Los fabricantes de cada antena proporcionan los patrones de radiación para el software (en el disco se anexan patrones de radiación para el Atoll y todos los tipos de antena marca Amphenol fabricados hasta octubre 2016).

Por último, y no menos importante se necesitan los parámetros básicos de las antenas, y son:

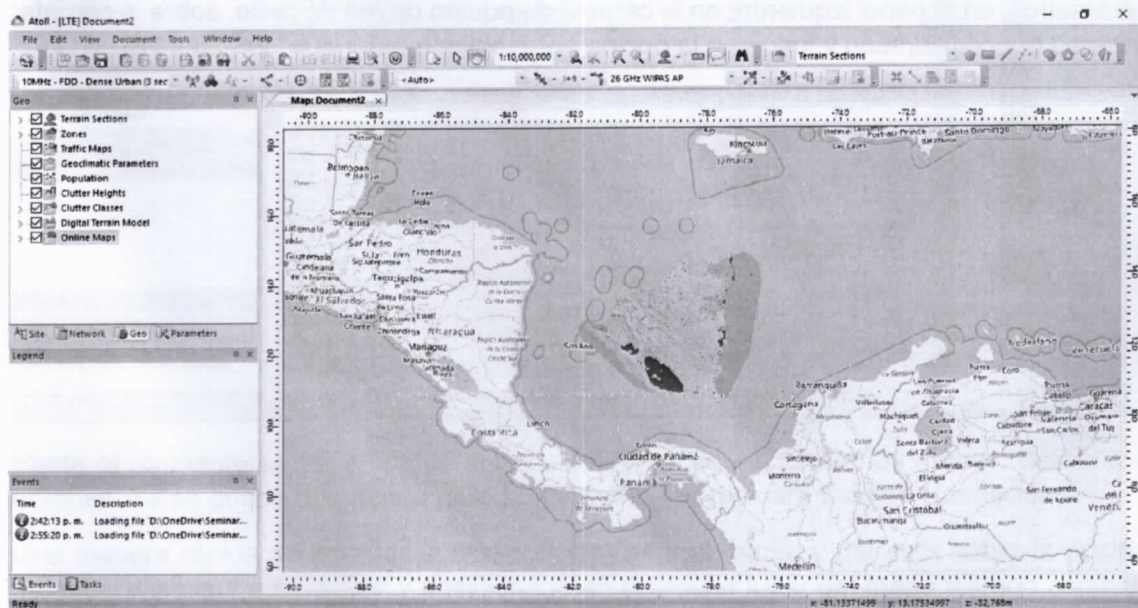
- Ubicación geográfica
- Altura de radiación
- Banda de frecuencia
- Azimuth
- Inclinación mecánica
- Inclinación eléctrica
- Potencia máxima
- RSRP mínimo

Procedimiento para la simulación:

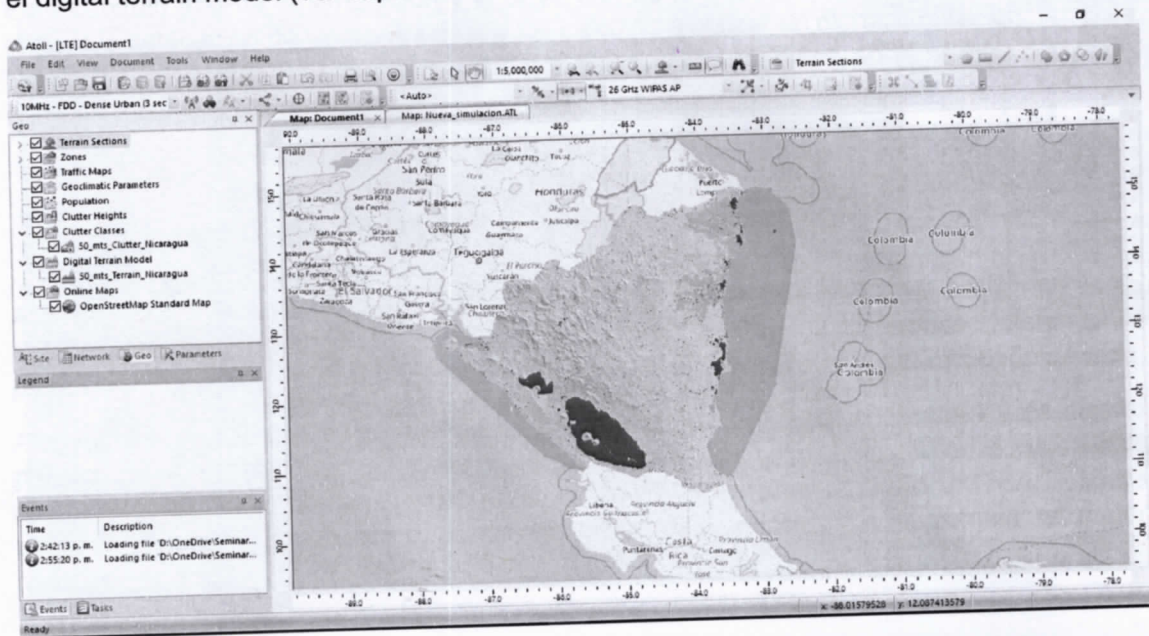
Al abrir el software, crear un nuevo proyecto desde un documento plantilla (Captura N° 1) y seleccionar solamente LTE (Captura N° 2).



Se creará un nuevo documento en blanco (Captura N° 3), luego de esto, lo primero que se necesita hacer, es importar los Clutter Class y los modelos digitales de terreno, para esto se selecciona la opción de importar desde el menú de archivos (ver capturas del N° 4 al 10). Se debe importar en el orden mencionado (primero Clutter Class y luego Digital Terrain Model).

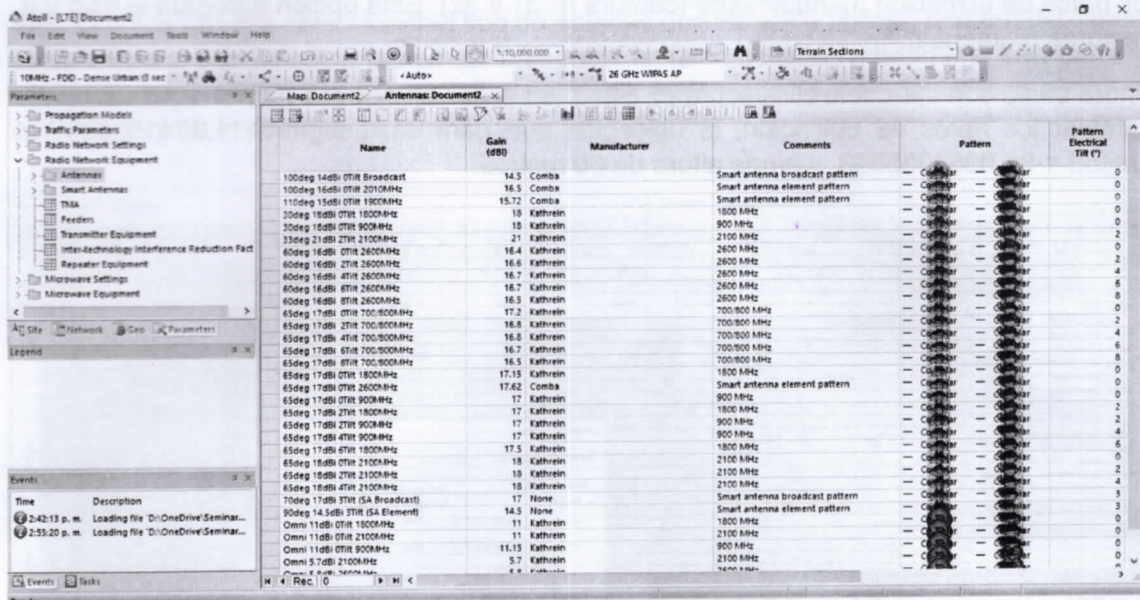


Al importar estos archivos se mostrará como en la captura n° 16. Para reestablecer las coordenadas del clutter class y el digital terrain model, es necesario ir a la pestaña "Geo", y en el panel izquierdo sobre el clutter class dar doble click, y en la pestaña "Geocoding" colocar $X = -247,900$ y $Y = 1,676,200$, reposicionará el clutter class, lo mismo se hace para el digital terrain model (ver capturas de la 17 a la 23).

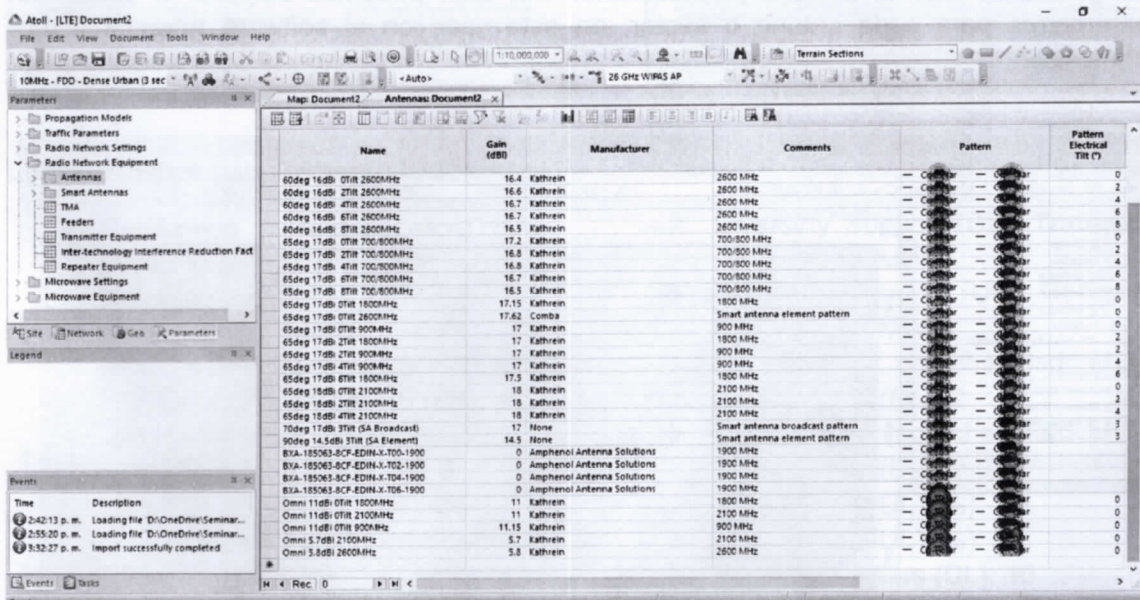


Al finalizar las configuraciones de los mapas, debe quedar como la captura n° 23. Con esto finalizamos la configuración inicial, lo que continua es agregar los primeros datos para el sitio y los transmisores.

El siguiente paso, es ingresar los patrones de radiación de las antenas a utilizar, para seleccionarlos una vez se agreguen los transmisores. Para agregarlos, en la pestaña parámetros, en el panel izquierdo, en la carpeta de equipo de red de radio, sobre la carpeta antenas dar clic derecho y luego en la opción abrir tablas (capturas n° 24, 25 y 26).



Luego sobre la opción importar (captura n° 27) buscar el archivo de la antena a utilizar (en este caso BXA-185063-8CF-EDIN-X, captura n° 28), y luego importar los archivos, si la operación fue exitosa, se deben de mostrar las nuevas antenas en la tabla de antenas (captura n° 29 y 30)

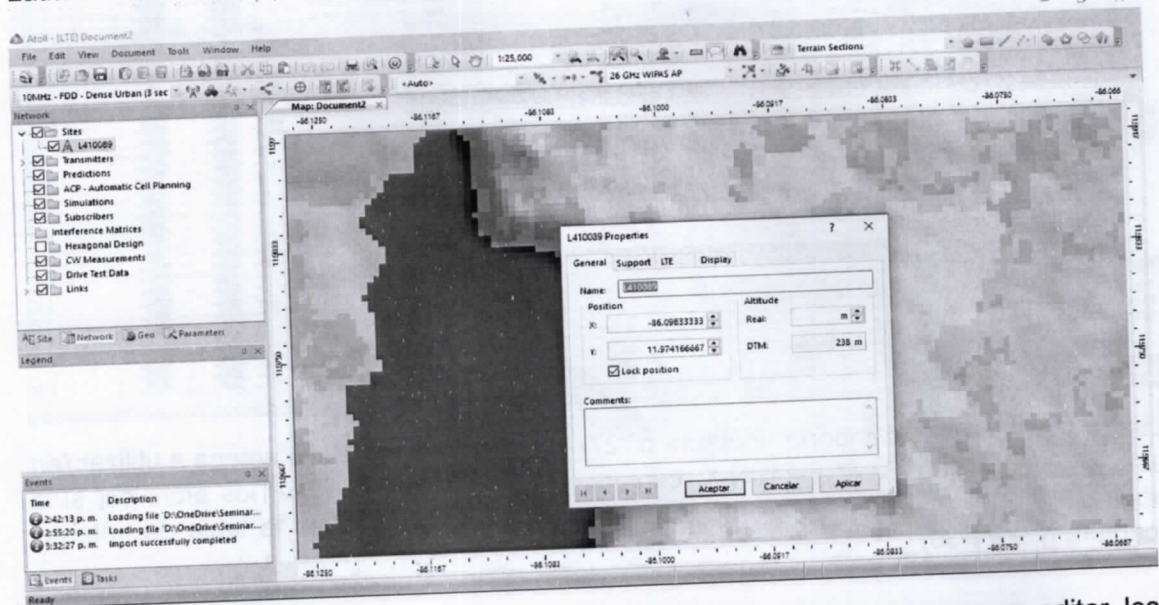


Hasta el momento se tiene listo la importación y configuración de los mapas, terrenos y antenas. Ya se puede empezar a agregar los transmisores para nuestra simulación.

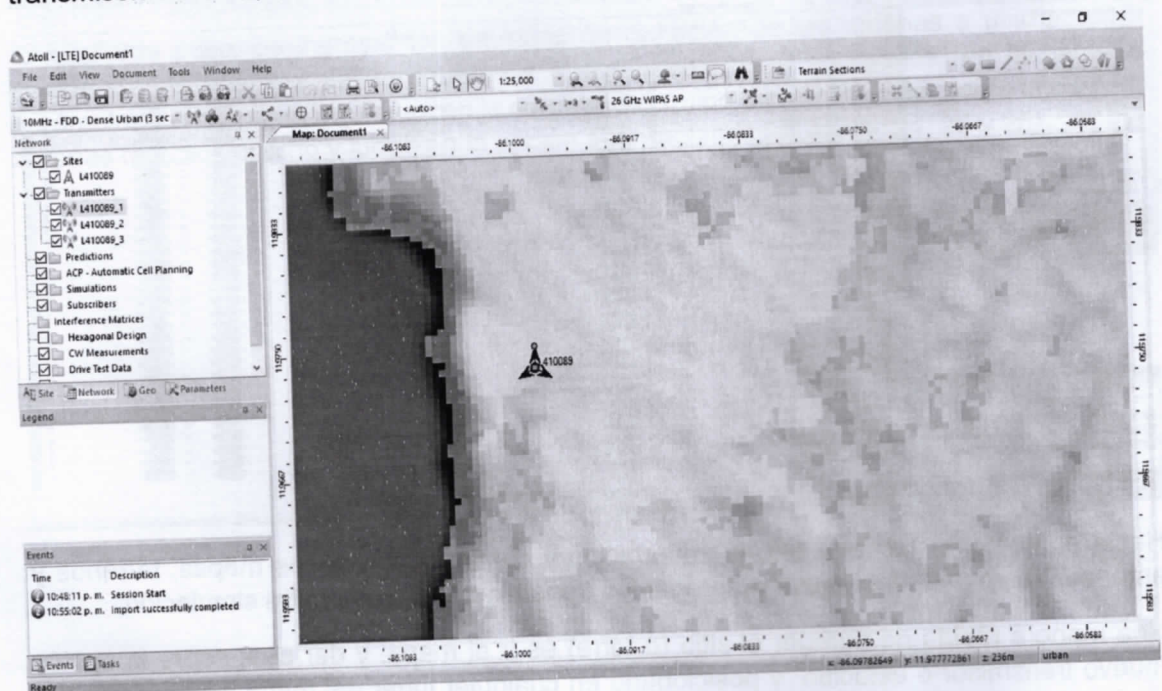
Una manera rápida de agregar el sitio (o torre) es ir al mapa, y dar click sobre la opción "nuevo transmisor o estación" y posicionarlo en cualquier lugar del mapa y luego cambiar

los datos de ubicación manualmente (captura n° 31 y 32). Esta opción agregará el sitio y 3 sectores o antenas.

Ahora basta con dar doble click sobre el "Site0" en la pestaña de red (panel izquierdo) para cambiar los datos de ubicación, la ubicación que dará es: Longitud=11.9741666667 y Latitud =-86.0983333333, y a una altura de 60 metros.



Luego de cambiar el nombre y la ubicación del sitio, podemos empezar a editar los parámetros para cada antena o sector, en este caso en el software aparece como transmisor:



Para que nos permita seleccionar el tipo de antenas que vamos a utilizar, primero debemos editar en cada transmisor la banda de frecuencia en la cual vamos a brindar el servicio, en este caso es E-UTRA Band 2 - 15Mhz, esto se puede editar dando doble click sobre el transmisor, y en la pestaña de "cell".

L410089_1 Properties

General Transmitter Cells Propagation Display

1	
Name	L410089_1
ID	L410089_1
Active	<input checked="" type="checkbox"/>
Order	1
Layer	Macro Layer
Cell Type	LTE
Frequency Band	E-UTRA Band 2 - 15MHz
Channel Number	825
Channel Allocation Status	Not Allocated
Physical Cell ID Domain	
Physical Cell ID	0
PSS ID	0
SSS ID	0
PSS ID status	Not Allocated
SSS ID status	Not Allocated
Reuse distance (m)	
Max Power (dBm)	46
RS EPRE per antenna port (dBm)	19.4
SS EPRE Offset / RS (dB)	0
PBCH EPRE Offset / RS (dB)	0
PDCCH EPRE Offset / RS (dB)	-3
PDSCH EPRE Offset / RS (dB)	-3
Min RSRP (dBm)	-122
Cell Selection Threshold (dB)	0
Cell Individual Offset (dB)	0
Handover Margin (dB)	0
ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)	0
Fractional Power Control Factor	1
Max Noise Rise (UL) (dB)	6
Max PUSCH C/(I+N) (dB)	20
Interference Coordination Support	Static DL
Frame configuration	Default 75 RB
TDD subframe configuration	0 - DSUUU-DSUUU
Almost Blank Subframe (ABS) Pattern	
Reception Equipment	Default Cell Equipment
Scheduler	Round Robin
Diversity Support (DL)	Transmit Diversity;SU-MIMO
Diversity Support (UL)	Receive Diversity;SU-MIMO

L410089_1 Properties

General Transmitter Cells Propagation Display

1	
Cell Individual Offset (dB)	0
Handover Margin (dB)	0
ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)	0
Fractional Power Control Factor	1
Max Noise Rise (UL) (dB)	6
Max PUSCH C/(I+N) (dB)	20
Interference Coordination Support	Static DL
Frame configuration	Default 75 RB
TDD subframe configuration	0 - DSUUU-DSUUU
Almost Blank Subframe (ABS) Pattern	
Reception Equipment	Default Cell Equipment
Scheduler	Round Robin
Diversity Support (DL)	Transmit Diversity;SU-MIMO
Diversity Support (UL)	Receive Diversity;SU-MIMO
Number of co-scheduled MU-MIMO users (DL)	2
Number of co-scheduled MU-MIMO users (UL)	2
Traffic Load (DL) (%)	30
Traffic Load (UL) (%)	30
UL Noise Rise (dB)	0
Max Traffic Load (DL) (%)	100
Max Traffic Load (UL) (%)	100
Cell-edge Traffic Ratio (DL) (%)	0
ICIC Noise Rise (UL) (dB)	0
Inter-technology DL Noise Rise (dB)	0
Inter-technology UL Noise Rise (dB)	0
AAS Usage (DL) (%)	0
Angular distributions of interference (AAS)	
Number of Users (DL)	10
Number of Users (UL)	10
Max Number of Users	100
Max number of intra-technology neighbours	16
Max number of inter-technology neighbours	16
Comments	
Number of Required PRACH RSI	1
PRACH Root Sequences	
PRACH RSI Allocation Status	Not Allocated
Neighbours	...

Los parámetros para los sectores son:

- Banda de frecuencia: E-UTRA BAND 2 - 15Mhz
- Numero de canales: 825
- Potencia maxima: 46
- PDCCH EPRE Offser/RS (dB): -3
- PDSCH EPRE Offser/RS (dB): -3
- Min RSRP (dbm): -122
- Max Noise Rise (UL) (dB): 6
- Max PUSCH C/(i+N) (dB): 20
- Interference Coordination Support: Static DL
- Frame configuration: Default 75 RB
- Reception Equipment: Defaul Cell Equipment
- Scheduler: Round Robin
- Diversirty Support (DL): Transmit Diversity;SU-MIMO
- Diversirty Support (UL): Receive Diversity;SU-MIMO
- Numbrer of co-scheduled MU-MIMO Users (DL): 2
- Numbrer of co-scheduled MU-MIMO Users (UL): 2
- Traffic Load (DL) (%): 30
- Traffic Load (UL) (%): 30
- Number of Users (DL): 10
- Number of Users (UL): 10
- Max Number of Users: 100
- Max number of intra-technology neighbours: 16
- Max number of inter-technology neighbours: 16

En la pestaña "cell" de cada transmisor lo único diferente de los otros transmisores será el nombre. L410089_2 para el sector 2, y L410089_3 para el sector 3.

L410089_2 Properties			
General Transmitter Cells Propagation Display			
Name	L410089_2		
ID	L410089_2	<input checked="" type="checkbox"/>	
Active			1
Order	Macro Layer		
Layer	LTE		
Cell Type	E-UTRA Band 2 - 15MHz		
Frequency Band	825		
Channel Number	Not Allocated		
Channel Allocation Status			
Physical Cell ID Domain		0	
Physical Cell ID		0	
PSS ID		0	
SSS ID	Not Allocated		
PSS ID status	Not Allocated		
SSS ID status			
Reuse distance (m)		46	
Max Power (dBm)		15.4	
RS EPRE per antenna port (dBm)		0	
SS EPRE Offset / RS (dB)		0	
PBCH EPRE Offset / RS (dB)		-3	
PDCCH EPRE Offset / RS (dB)		-3	
PDSCH EPRE Offset / RS (dB)		-122	
Min RSRP (dBm)		0	
Cell Selection Threshold (dB)		0	
Cell Individual Offset (dB)		0	
Handover Margin (dB)		0	
ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)			
Fractional Power Control Factor	1	6	
Max Noise Rise (UL) (dB)		20	
Max PUSCH C/I (dB)			
Interference Coordination Support			
Frame configuration	0 - DSUUU-DSUUU		
TDD subframe configuration			
Almost Blank Subframe (ABS) Pattern			
Reception Equipment	Default Cell Equipment		
Scheduler	Round Robin		
Diversity Support (DL)	Transmit Diversity;SU-MIMO		
Diversity Support (UL)	Receive Diversity;SU-MIMO		

L410089_3 Properties			
General Transmitter Cells Propagation Display			
Name	L410089_3		
ID	L410089_3	<input checked="" type="checkbox"/>	
Active			1
Order	Macro Layer		
Layer	LTE		
Cell Type	E-UTRA Band 2 - 15MHz		
Frequency Band	825		
Channel Number	Not Allocated		
Channel Allocation Status			
Physical Cell ID Domain		0	
Physical Cell ID		0	
PSS ID		0	
SSS ID	Not Allocated		
PSS ID status	Not Allocated		
SSS ID status			
Reuse distance (m)		46	
Max Power (dBm)		19.4	
RS EPRE per antenna port (dBm)		0	
SS EPRE Offset / RS (dB)		0	
PBCH EPRE Offset / RS (dB)		-3	
PDCCH EPRE Offset / RS (dB)		-3	
PDSCH EPRE Offset / RS (dB)		-122	
Min RSRP (dBm)		0	
Cell Selection Threshold (dB)		0	
Cell Individual Offset (dB)		0	
Handover Margin (dB)		0	
ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)			
Fractional Power Control Factor	1	6	
Max Noise Rise (UL) (dB)		20	
Max PUSCH C/I (dB)			
Interference Coordination Support			
Frame configuration	0 - DSUUU-DSUUU		
TDD subframe configuration			
Almost Blank Subframe (ABS) Pattern			
Reception Equipment	Default Cell Equipment		
Scheduler	Round Robin		
Diversity Support (DL)	Transmit Diversity;SU-MIMO		
Diversity Support (UL)	Receive Diversity;SU-MIMO		

Después de haber ingresado los parámetros anteriormente mencionados, el software ya nos permitirá seleccionar la antena que usaremos para esta simulación, en este caso es una BXA-185060-8CF-EDIN-X-T06-1900, esto se selecciona dando doble clic a cada transmisor, y luego en la pestaña "transmitter", ahí colocaremos los siguientes parámetros:

Sector 1

- Total Losses: 0.5 dB
- Noise Figure: 5 dB
- Altura: 60 M
- Modelo: BXA-185060-8CF-EDIN-X-T06-1900
- Azimuth: 40°
- Tilt Mecanico: 2°

L410089_1 Properties

General Transmitter Cells Propagation Display

☒ Active Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)

Transmission/Reception

	Transmission		Reception		Equipment...
	Real	Calculated	Real	Calculated	
Total losses:	0.5 dB	0 dB	0 dB	0 dB	Détail
Noise figure:			5 dB	0 dB	

Antennas

Height/ground: 60 m

Main antenna

Model: BXA-185063-8CF-EDIN-X-T06-1900 Select...

Mechanical azimuth: 40° Mechanical downtilt: 2°

Electrical azimuth: * Electrical downtilt: *

Additional electrical downtilt: 0°

Smart antenna

Equipment: *

Number of antenna ports

Transmission: 2 Reception: 2

Parametros Sector 2

- Total Losses: 0.5 dB
- Noise Figure: 5 dB
- Altura: 60 M
- Modelo: BXA-185060-8CF-EDIN-X-T06-1900
- Azimuth: 120°
- Tilt Mecanico: 2°

L410089_2 Properties

General Transmitter Cells Propagation Display

☒ Active Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)

Transmission/Reception

	Transmission		Reception		Equipment...
	Real	Calculated	Real	Calculated	
Total losses:	0.5 dB	0 dB	0 dB	0 dB	Détail
Noise figure:			5 dB	0 dB	

Antennas

Height/ground: 60 m

Main antenna

Model: BXA-185063-8CF-EDIN-X-T06-1900 Select...

Mechanical azimuth: 120° Mechanical downtilt: 2°

Electrical azimuth: * Electrical downtilt: *

Additional electrical downtilt: 0°

Smart antenna

Equipment: *

Number of antenna ports

Transmission: 2 Reception: 2

Secondary antennas

Sector 3

- Total Losses: 0.5 dB
- Noise Figure: 5 dB
- Altura: 60 M
- Modelo: BXA-185060-8CF-EDIN-X-T06-1900
- Azimuth: 290°
- Tilt Mecanico: 2°

L410089_3 Properties

General Transmitter Cells Propagation Display

☒ Active Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)

Transmission/Reception

Transmission		Reception		Equipment...
Real	Calculated	Real	Calculated	
0.5 dB	0 dB	0 dB	0 dB	Detail

Total losses: 0.5 dB

Noise figure: 5 dB

Antennas

Height/ground: 60 m

Main antenna

Model: BXA-185063-8CF-EDIN-X-T06-1900

Mechanical azimuth: 290°

Electrical azimuth: 0°

Mechanical downtilt: 2°

Electrical downtilt: 4°

Additional electrical downtilt: 0°

Smart antenna

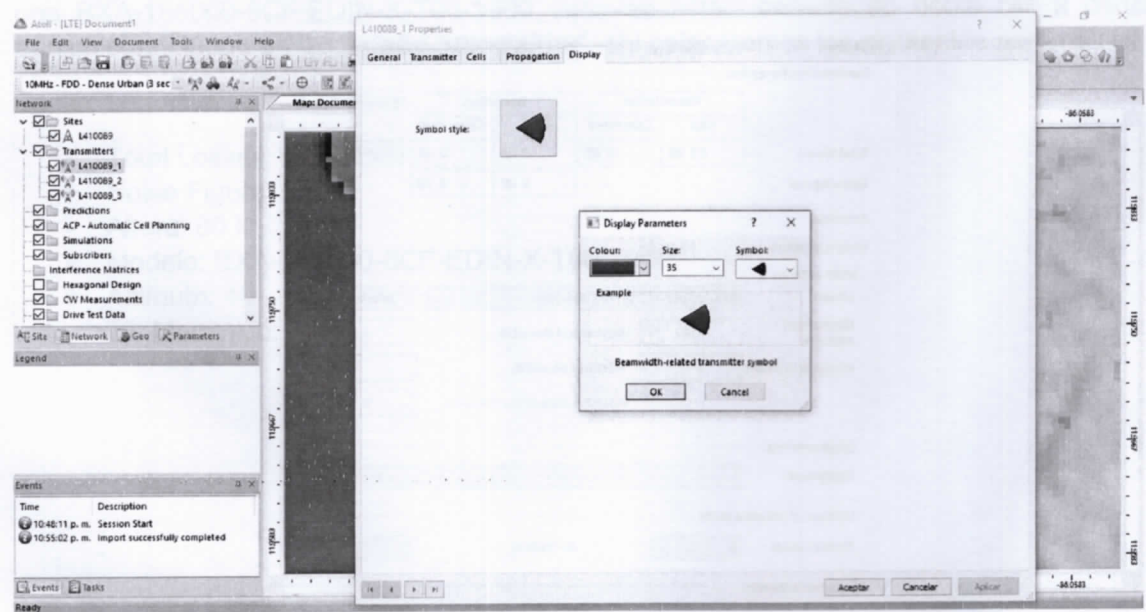
Equipment:

Number of antenna ports

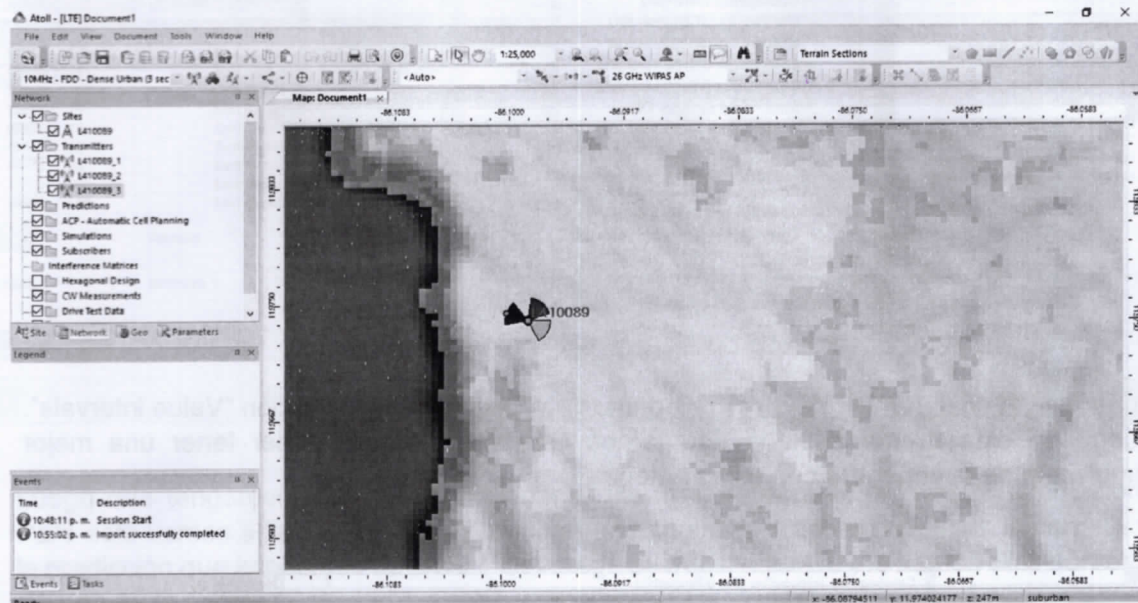
Transmission: 2 Reception: 2

Secondary antennas

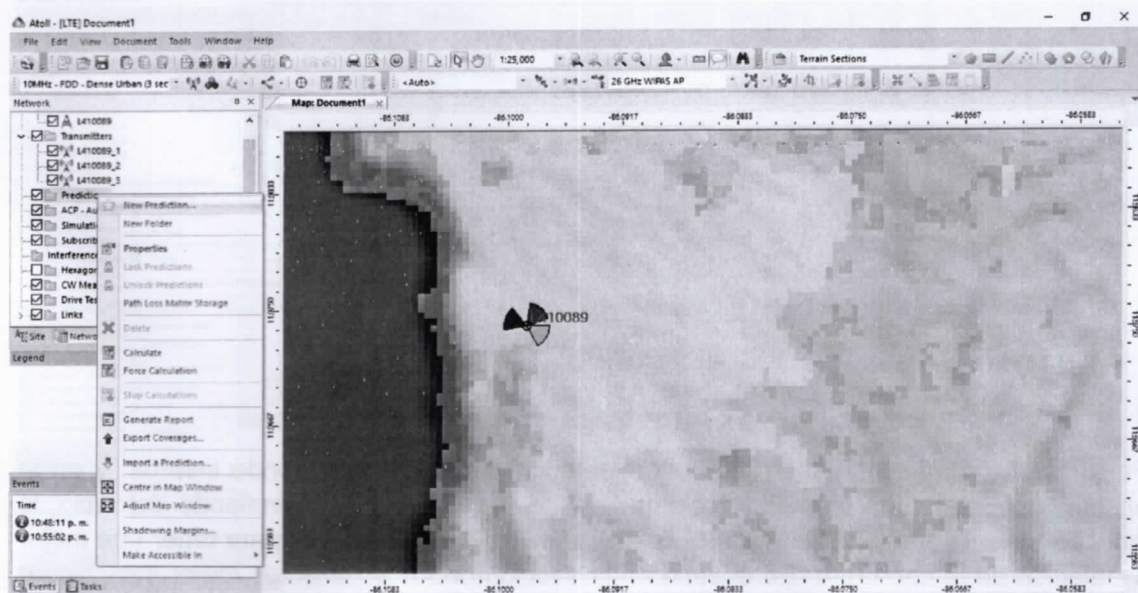
También podemos, personalizar un poco más los iconos de los sectores en la pestaña "Display":



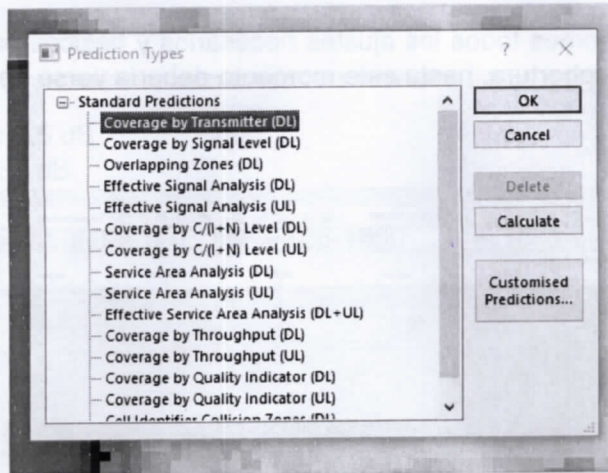
De esta forma ya tendremos todos los ajustes necesarios y básicos para realizar nuestra primera simulación de cobertura, hasta este momento debería verse de esta forma:



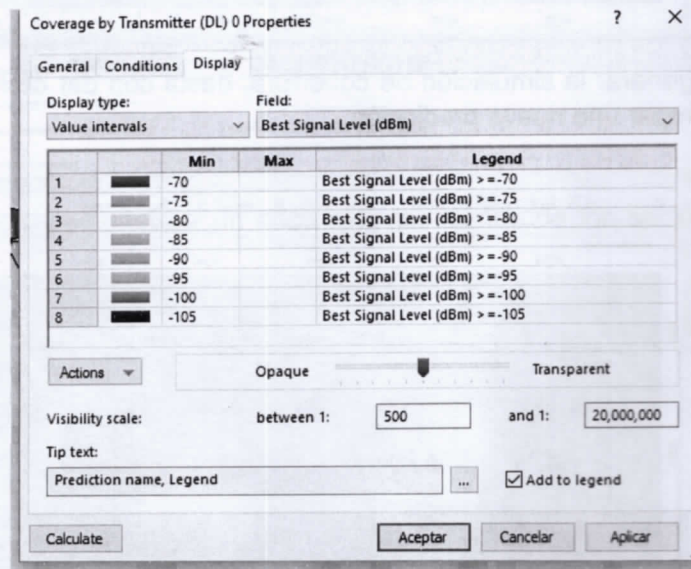
Ahora, para poder generar la simulación de cobertura, basta con dar click derecho sobre "Predicciones" y agregar una nueva predicción.



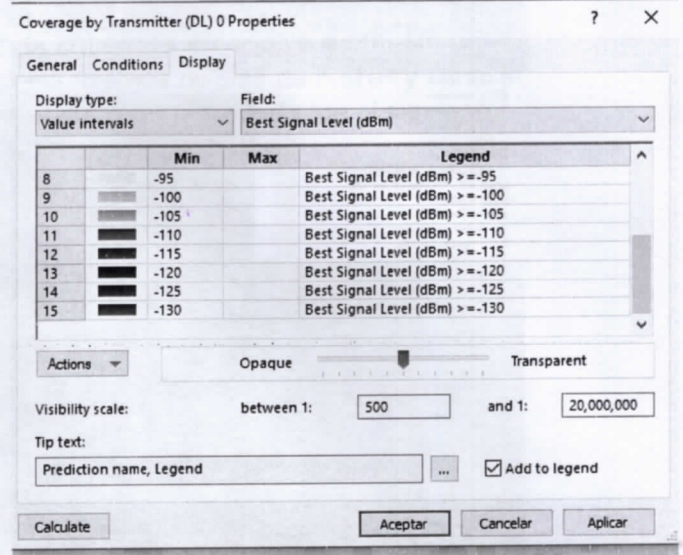
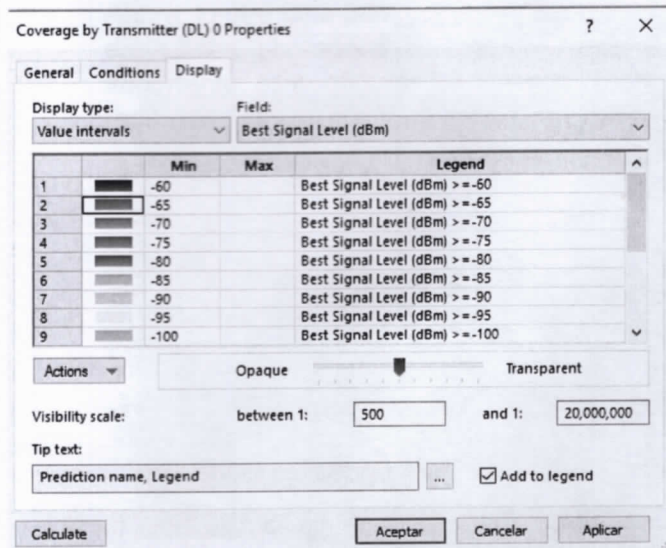
Seleccionamos la opción "Coverage by Transmitter (DL)" y seleccionamos Ok.



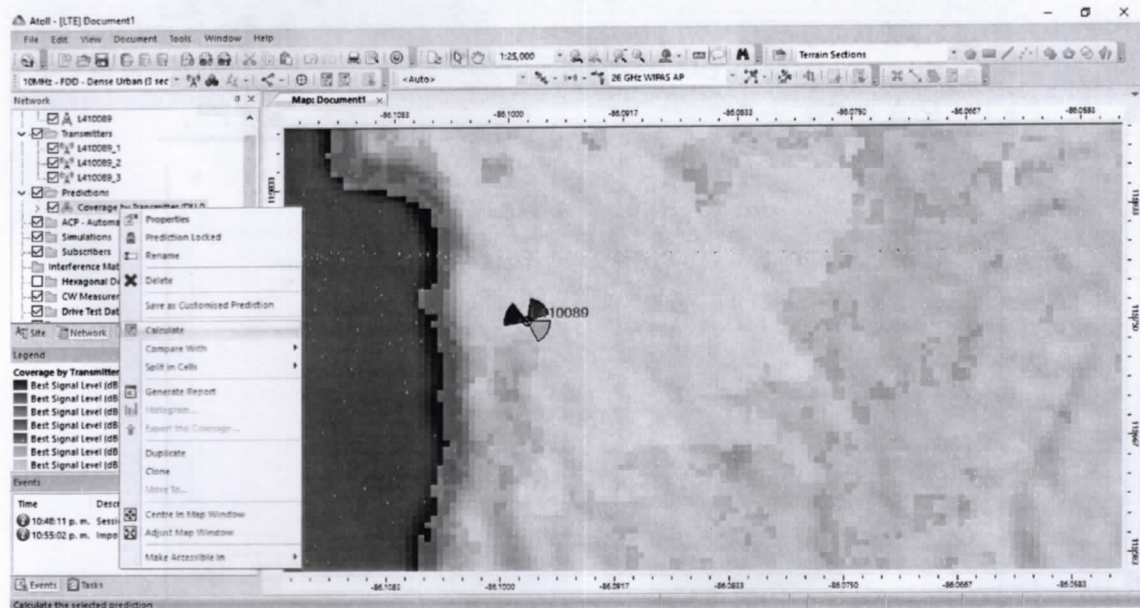
Luego, en la pestaña "Display" seleccionamos en "Display type" la opción "Value intervals". Luego en esta misma pestaña agregamos más valores para poder tener una mejor simulación de la cobertura con estas antenas.



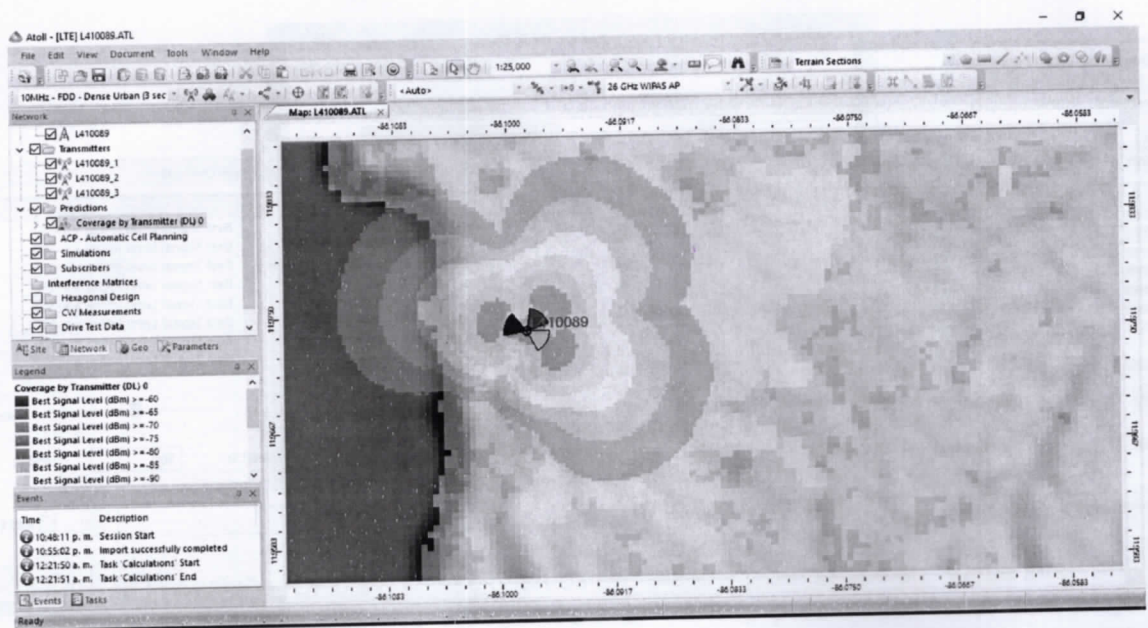
Para insertar más cantidad de intervalos, seleccionamos el lugar donde insertar, y en la opción "Actions" seleccionamos "Insert before" o "Insert after", dependiendo del caso, lo ideal es tener intervalos desde -60 dBm hasta -130 dBm cada 5dBm para tener una mejor simulación de la cobertura. En el caso de la sección de los colores, es mejor seleccionar colores más claros para niveles más altos de recepción y colores más oscuros para niveles bajos.



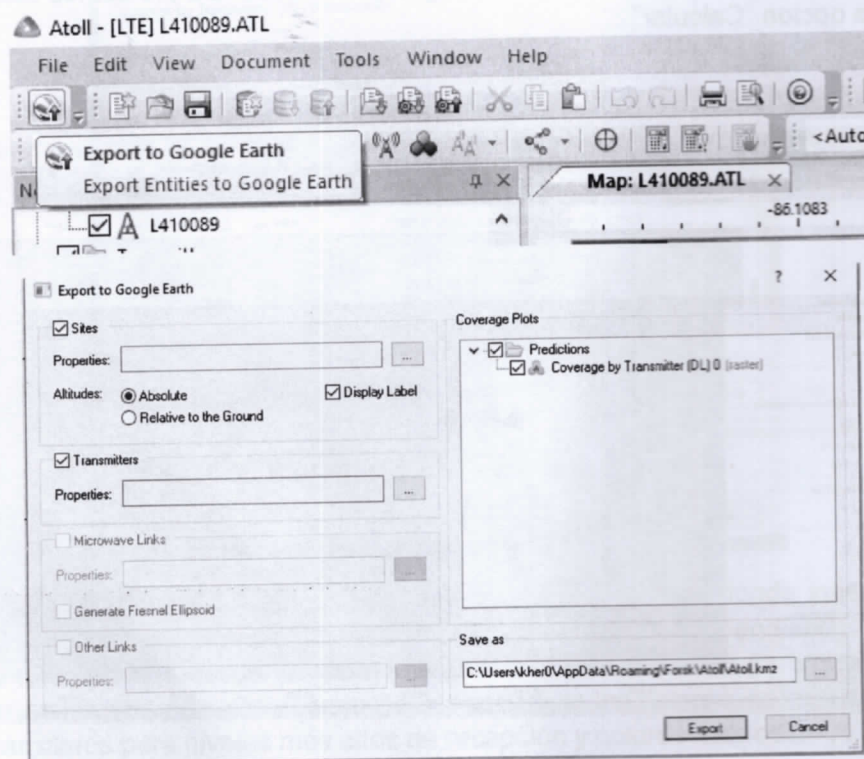
Luego que tengamos estas configuraciones lista, podemos generar nuestra simulación. Para esto vamos a la carpeta "Predicción" en el panel izquierdo, expandimos la carpeta y la predicción que acabamos de crear ("Coverage by transmitter DL") le damos click derecho y luego en la opción "Calcular"



Si la operación fue un éxito, nuestra simulación estará finalizada y debera mostrarnos una imagen similar a la siguiente:

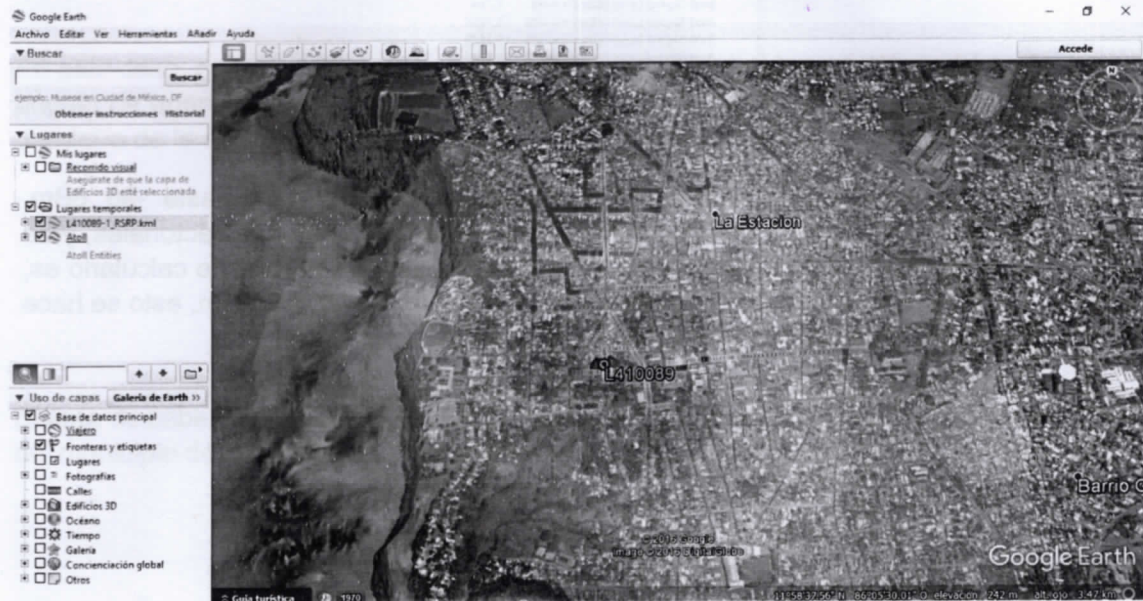


Si deseamos ver esto en Google Earth, podemos exportar un archivo KMZ, dando click sobre el icono de Google Earth

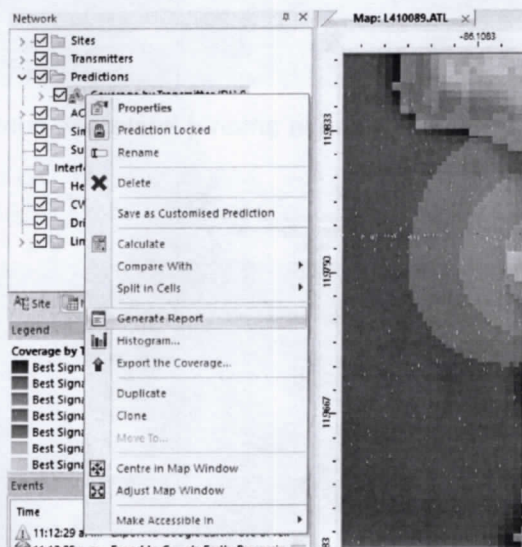


Si la operación fue exitosa, nos deberá generar el archivo en la misma carpeta donde está guardado el proyecto de Atoll.

Ahora, lo que falta para comparar esta parte teórica con la práctica, es realizar un drivetest en la zona y comparar los logs del recorrido, con la cobertura en google earth. Un punto importante, es configurar los mismos colores para los mismos niveles de RSRP y filtrar el recorrido únicamente para este mismo sitio. En nuestro caso el resultado fue el siguiente:



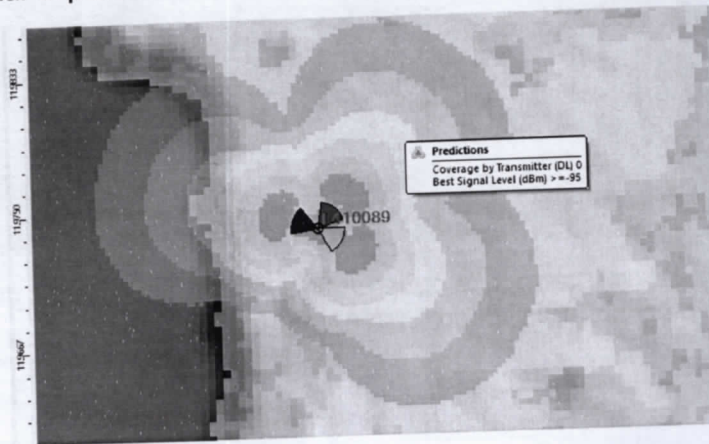
Para realizar el cálculo del área con la cobertura de este sitio, podemos dar click derecho sobre la predicción de cobertura y luego en generar reporte:



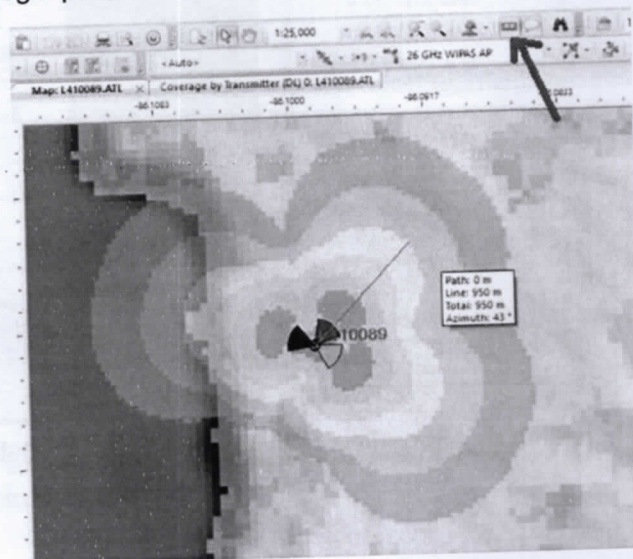
Luego seleccionamos la opción de "Superficie (Km²)" y nos deberá mostrar el cálculo:

Map: L410089.ATL Coverage by Transmitter (DL) 0: L4	
Name	Surface (km²)
Coverage by Transmitter (DL) 0	5.3649
Best Signal Level (dBm) >=-60	0.0009
Best Signal Level (dBm) >=-65	0.0018
Best Signal Level (dBm) >=-70	0.0045
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.0162
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.2826
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.648
Best Signal Level (dBm) >=-90	1.0818
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.764
Best Signal Level (dBm) >=-100	3.0654
Best Signal Level (dBm) >=-105	5.3649
Best Signal Level (dBm) >=-110	5.3649
Best Signal Level (dBm) >=-115	5.3649
Best Signal Level (dBm) >=-120	5.3649
Best Signal Level (dBm) >=-125	5.3649
Best Signal Level (dBm) >=-130	5.3649

Si sumamos las superficies que reciben cobertura desde -60 dBm hasta -95 dBm, obtenemos una superficie de 3.80Km² de cobertura con estas 3 antenas sectoriales, y se puede decir que en promedio equivale a 1.27 Km² por sector. Otra forma de calcularlo es, midiendo en el mapa, hasta donde se obtiene aproximadamente los -95dBm, esto se hace solo con posicionar el puntero sobre la mancha de cobertura:



Ahora, se utiliza la regla para medir desde la antena, hasta ese punto:



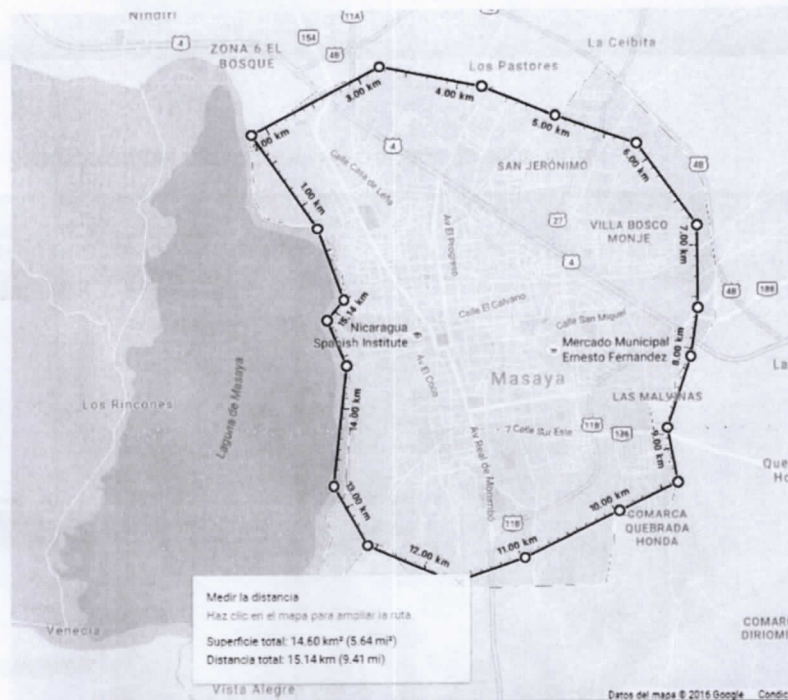
Como podemos ver, se tiene que aproximadamente a 1Km de distancia, se mantiene una cobertura de -95dBm. Si obtenemos la superficie del sector circular, la formula es:

$$A = \pi r^2 \frac{\phi}{360^\circ}$$

En este caso, nuestro radio es de 1Km, y lo podemos extender a 1.1Km, el ángulo ϕ es el angulo de apertura de la antena que usamos, en este caso es de 63° , si sustituimos nos quedaría de la siguiente manera

$$A = \pi (1.0 \text{ km})^2 \frac{63^\circ}{360^\circ} = 0.67 \text{ Km}^2$$

El área de cobertura de cada sector es de aproximadamente 0.67 Km^2 . Para obtener el área del municipio de Masaya, se utilizó la herramienta de medidor de distancia de google maps:



El valor obtenido es de 14.6 Km^2 , si redondeamos este valor, se puede decir que el área a cubrir es de 15 Km^2 . Esta superficie entre la superficie por sector nos da la cantidad de sectores necesarios:

$$\text{Sectores de necesarios} = \frac{\text{Area a cubrir}}{\text{Area de cobertura por sector}}$$

$$\text{Sectores necesarios} = \frac{15\text{Km}^2}{0.67\text{Km}^2}$$

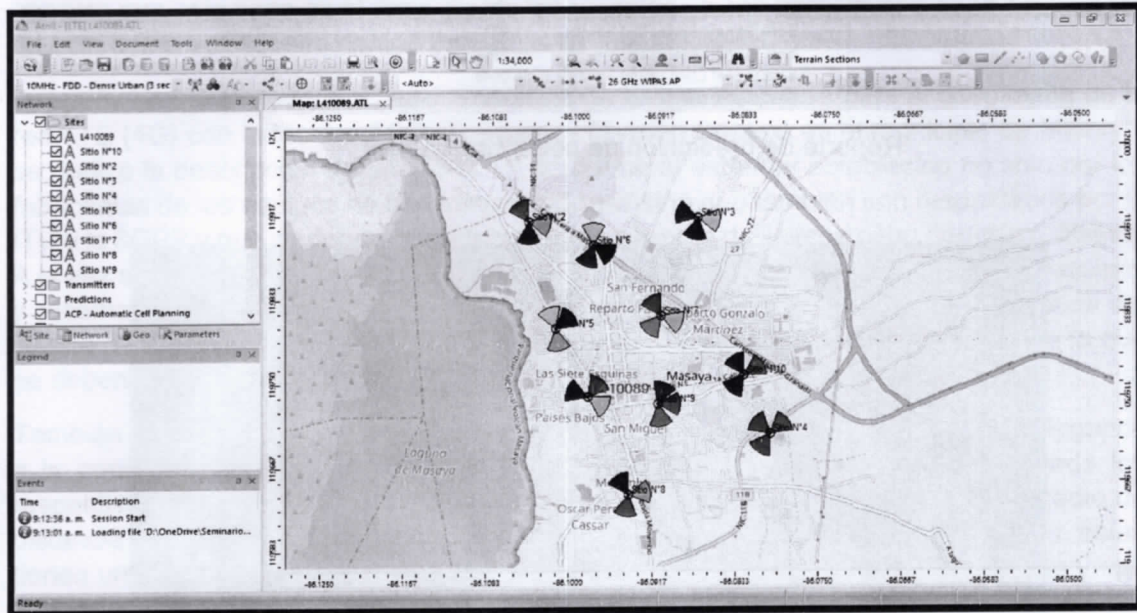
Sectores necesarios = 22 Sectores aproximadente

Generalmente por cada torre, se instalan 3 sectores, esto nos indican que se necesitarían aproximadamente 8 puntos estratégicos (22 sectores entre 3 sectores por ubicación) para ubicar estas antenas y dar cobertura al municipio de Masaya.

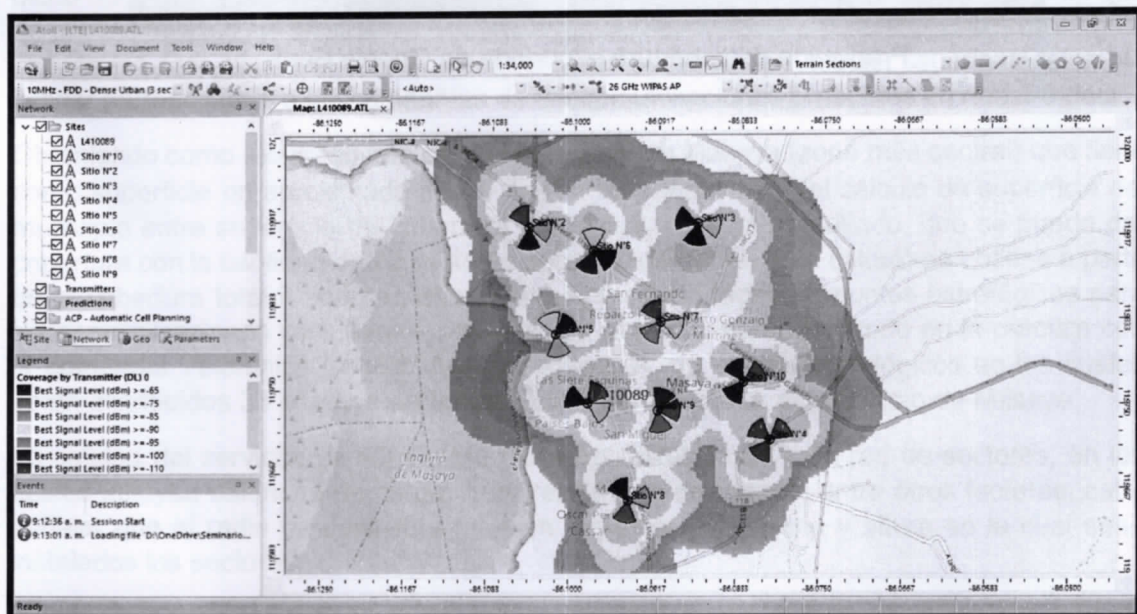
Los puntos estratégicos donde se ubican estas antenas también depende de la parte comercial y ventas, del cual se obtienen las ganancias para sufragar los costos operativos y costos de instalación de estos mismos nodos.

En la tabla N°4 se indican los valores generales que se proponen para los sitios. En este caso, se proponen 2 sitios adicionales a los obtenidos en los cálculos, dando un total de 10 sitios. Estos 2 sitios adicionales se proponen para dar cobertura al sitio de capacidad ubicado en el mercado municipal de Masaya.

Los datos de cada sector y sitio se encuentran en la tabla número 5. Al ingresar todos los valores indicados en la tabla, la propuesta queda de la siguiente forma:



Al generar la predicción de cobertura, se obtiene lo siguiente:



Al generar el reporte de cobertura de superficie, se obtiene que la cantidad total a la que se da cobertura con los 33 sectores, y las ubicaciones seleccionadas, se da cobertura a 18.06Km².

Name	Surface (km ²)
Coverage by Transmitter (DL) 0	18.0648
Best Signal Level (dBm) >=-65	0.0072
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.2331
Best Signal Level (dBm) >=-85	5.2695
Best Signal Level (dBm) >=-90	8.5095
Best Signal Level (dBm) >=-95	11.007
Best Signal Level (dBm) >=-100	13.9968
Best Signal Level (dBm) >=-110	18.0648
Best Signal Level (dBm) >=-120	18.0648

Reporte de predicción de cobertura en Km²



Predicción de cobertura exportada en Google Earth.

VIII. CONCLUSIONES

La importancia de la implementación de la tecnología LTE se destaca no solo a nivel de una marca o de infraestructura de una compañía de telecomunicaciones en sí, sino que el impacto que esta tiene en el día a día de los usuarios ya sea para llevar a cabo actividades de ocio como actividades de tipo comercial es trascendental.

Después de haber llevado a cabo el análisis de la red de acceso para el despliegue de la red LTE (4G) con la técnica FDD (Frequency División Dúplex) en el municipio de Masaya, se realizó la descripción de una red LTE conforme al estándar establecido no solo por los fabricantes de los equipos de telecomunicaciones sino que también son respaldados por la ITU y la 3GPP y que se deben considerar en el momento de llevar a cabo durante el diseño. A la vez se hizo un resumen de los procedimientos a seguir en la instalación de los equipos y recomendaciones de suma importancia como por ejemplo el apegarse a los planos del diseño así mismo se especificó que equipos se instalaran en el nodo y la forma en la que se deben de hacer incluyendo la ubicación del equipo en el sitio.

También se llevó a cabo la simulación con el programa de diseño y planificación, llegando a la conclusión que para poder dar cobertura al municipio de Masaya y haciendo los respectivos cálculos de que con un sector o antena se puede dar cobertura a un radio de distancia de 1.1 Km, según los parámetros de las antenas usadas en la simulación, estas tienen una apertura de 63° , dando como resultado 0.67 Km cuadrados de superficie y una cobertura mínima de -95dBm.

Se realizó el análisis el diseño del eNodeB, se detalló cada uno de los parámetros de diseño, se indicaron los procedimientos de instalación y se llevó a cabo la simulación de dicho diseño con éxito, dando a conocer la viabilidad de este proyecto y manifestando que es posible establecer un área de cobertura LTE en el municipio de Masaya, departamento de Masaya para ofrecer el servicio de datos y sus derivados a cualquier usuario de telefonía celular perteneciente a las compañías de telecomunicaciones presentes en nuestro país.

Obteniendo como resultado que para el municipio de Masaya (zona más central) que tiene como superficie un aproximado de 15 Km^2 y llevando a cabo el cálculo de superficie del municipio entre superficie de cobertura por sector, da como resultado, que se puede dar cobertura con la cantidad de 22 sectores aproximadamente. Este cálculo se obtiene a partir de la cobertura total a abarcar, dando como resultado teórico 8 puntos estratégicos para escoger ubicaciones para establecer estas 22 antenas, pero tendiendo en la práctica con la compañía Telefónica Celular de Nicaragua S.A. 10 puntos estratégicos en los cuales están distribuidos 33 antenas sectoriales, para dar cobertura al municipio de Masaya.

La calidad del servicio, ya dependerá de la optimización de esta red de sectores, en los cuales influyen balanceo de carga, declaración de vecindades, entre otros factores, cabe señalar que el radio de cobertura también depende del terreno y altura en la cual sean instalados los sectores.

IX. BIBLIOGRAFIA

3GPP, (Marzo 2008), Improved Network Controlled Mobility between E-UTRAN and 3GPP2/Mobile WiMAX Radio Technologies - 3GPP TR 36.938 v8.0.0.

3GPP, (Enero 2015). Requirements for evolved UTRA and evolved UTRAN - 3GPP TR 25.913,

CDMA Development Group, (Septiembre 2009), "CDMA Migration Path to LTE", obtenido de www.cdg.org.

IETF, (Agosto 2002), RFC 3344 - IP Mobility Support for IPv4.

IETF, (Diciembre 2005), RFC 4301 - Security Architecture for the Internet Protocol.

I. ANEXOS

Tablas:

Tabla No.1 - Versiones de LTE

		LTE versión 8	LTE Advanced	IMT Advanced
Pico de velocidad de datos	Bajada	300 Mbit/s	1 Gbit/s	1 Gbit/s
	Subida	75 Mbit/s	500 Mbit/s	
Pico de la eficiencia del espectro [bit /(s Hz)]	Bajada	15	30	15
	Subida	3,75	15	6,75

Tabla No.2 - Categorías de los equipos LTE versión 8

Categoría		1	2	3	4	5
Pico por ratio	Bajada	10	50	100	150	300
	Subida	5	25	50	50	75
Capacidad para funciones físicas						
Ancho de banda RF		20 MHz				
Modulación	Bajada	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Subida	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM	
Multi-antena						
2Rx		Asumido en los requerimientos de rendimiento				
2x2 MIMO		No soportado	Obligatorio			
4x4 MIMO		No soportado			Obligatorio	

Tabla No.3 – Parámetros de la Versión 8 LTE

Tipo de acceso	Subida	DFTS-OFDM
	Bajada	OFDMA
Ancho de banda		1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz
Mínimo TTI		1 ms
Espacio de la subportadora		15kHz
Prefijo de longitud cíclica	Corto	4,7µs
	Largo	16,7µs
Modulación		QPSK, 16QAM, 64QAM
Multiplexación espacial		Una sola capa para subida para UE Hasta 4 capas para bajada para UE MU-MIMO soportado para subida y bajada

Tabla No. 4 – Parámetros Generales de configuración para todos los sectores

Banda de frecuencia	E-UTRA BAND 2 - 15Mhz
Número de canales	825
Potencia maxima	46
PDCCH EPRE Offser/RS (dB)	-3
PDSCH EPRE Offser/RS (dB)	-3
Min RSRP (dbm)	-122
Max Noise Rise (UL) (dB)	6
Max PUSCH C/(i+N) (dB)	20
Interference Coordination Support	Static DL
Frame configuration	Default 75 RB
Reception Equipment	Defaul Cell Equipment
Scheduler	Round Robin
Diversirty Support (DL)	Transmit Diversity;SU-MIMO
Diversirty Support (UL)	Receive Diversity;SU-MIMO
Number of co-scheduled MU-MIMO Users (DL)	2
Number of co-scheduled MU-MIMO Users (UL)	2

Traffic Load (DL) (%)	30
Traffic Load (UL) (%)	30
Number of Users (DL)	10
Number of Users (UL)	10
Max Number of Users	100
Max number of intra-technology neighbors	16
Max number of inter-technology neighbors	16

Tabla No. 5 – Coordenadas y dirección para todos los sectores propuestos

Sector	Latitud	Longitud	Azimut
Sitio 2 - S1	11.991466	-86.104544	330
Sitio 2 - S2	11.991466	-86.104544	100
Sitio 2 - S3	11.991466	-86.104544	180
Sitio 3 - S1	11.992068	-86.087561	285
Sitio 3 - S2	11.992068	-86.087561	190
Sitio 3 - S3	11.992068	-86.087561	100
Sitio 4 - S1	11.970848	-86.079974	310
Sitio 4 - S2	11.970848	-86.079974	50
Sitio 4 - S3	11.970848	-86.079974	215
Sitio 5 - S1	11.980919	-86.101663	340
Sitio 5 - S2	11.980919	-86.101663	50
Sitio 5 - S3	11.980919	-86.101663	170
Sitio 6 - S1	11.98923	-86.098033	0
Sitio 6 - S2	11.98923	-86.098033	120
Sitio 6 - S3	11.98923	-86.098033	200
Sitio 7 - S1	11.98226	-86.091088	330
Sitio 7 - S2	11.98226	-86.091088	110
Sitio 7 - S3	11.98226	-86.091088	220
Sitio 8 - S1	11.96455	-86.094112	330
Sitio 8 - S2	11.96455	-86.094112	80
Sitio 8 - S3	11.96455	-86.094112	190
Sitio 9 - S1	11.973547	-86.091268	20
Sitio 9 - S2	11.973547	-86.091268	90
Sitio 9 - S3	11.973547	-86.091268	170
Sitio 10 - S1	11.976498	-86.082701	330
Sitio 10 - S2	11.976498	-86.082701	60
Sitio 10 - S3	11.976498	-86.082701	220